

ITINERARIO RAGUSA-CATANIA

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

LOTTO 4 - Dallo svincolo n. 8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana"(escluso)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PA898**

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

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



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

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

MANDANTI:



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

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



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

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



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

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



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

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



Dott. Ing. P.Agnello

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



VIADOTTI
VIADOTTO MARGI - CARR. DX
Relazione di calcolo dell'impalcato

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

L O 4 0 8 Z E 2 1 0 1

NOME FILE

T04VI03STRRE01B

CODICE ELAB.

T 0 4 V I 0 3 S T R R E 0 1

REVISIONE

SCALA:

B

-

B

Revisione a seguito di Rapporto di Verifica

Nov 2021

M. Botta

F. Durastanti

N.Granieri

A

Emissione

Giù 2021

M. Botta

F. Durastanti

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. INTRODUZIONE	6
1.1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	6
1.1.1 Impalcato	7
1.1.2 Sottostrutture	8
1.1.3 Sistema di vincolo	11
1.2 MODALITÀ REALIZZATIVE	11
1.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
1.3.1 Carpenteria metallica	12
1.3.2 Connettori trave-soletta	13
1.3.3 Giunzioni bullonate	13
1.3.4 Giunzioni saldate	14
1.3.5 Calcestruzzo	14
1.3.5.1 Soletta e Predalle.....	14
1.3.5.2 Parametri reologici calcestruzzo soletta.....	15
1.3.6 Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata	17
1.4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO	18
1.4.1 Classe di esecuzione	19
1.4.1.1 Scelta della classe di conseguenza.....	19
1.4.1.2 Classe di rischio connessa all'utilizzo della struttura (categorie di servizio).....	19
1.4.1.3 Classe di rischio connessa alla difficoltà nell'esecuzione della struttura (categorie di produzione).....	19
1.4.1.4 Determinazione della classe di esecuzione.....	19
1.5 SOFTWARE DI CALCOLO	20
1.6 CONVENZIONI GENERALI, PER LE VERIFICHE E LE ANALISI GLOBALI	21
2. IMPOSTAZIONI DELLE ANALISI E DELLE VERIFICHE	22
2.1 ANALISI DELLA STRUTTURA COMPOSTA	22
2.1.1 Fasi	22

2.2 DATI GENERALI DELLE SEZIONI DI IMPALCATO	23
2.2.1 Larghezze collaboranti di soletta	23
2.2.2 Fessurazione della soletta	25
2.2.3 Caratteristiche sezioni di impalcato	25
2.2.3.1 Proprietà geometrico-statiche.....	27
2.2.3.2 Proprietà plastiche delle sezioni	32
2.2.4 Caratteristiche del sistema di irrigidimento (ribs e stiffeners)	33
3. DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO	35
3.1 MODELLAZIONE E TIPO DI ANALISI	35
3.2 SISTEMA DI VINCOLO	37
4. ANALISI DEI CARICHI	38
4.1 CARICHI AGENTI IN FASE 1	38
4.1.1 Peso proprio acciaio (G_{k1}')	38
4.1.2 Peso proprio soletta (G_{k1}'')	39
4.1.3 Spostamento impresso agli appoggi delle spalle per simulazione contromonta	39
4.2 CARICHI AGENTI IN FASE 2A - 2B	40
4.2.1 Cordoli e sovraccarichi permanenti (G_{k2}')	40
4.2.2 Ritiro ($G_{sh,k}$)	40
4.2.3 Cedimenti vincolari ($G_{k,sett}$)	41
4.3 CARICHI AGENTI IN FASE 3	41
4.3.1 Variazioni termiche (QT_k)	41
4.3.1.1 Variazioni termiche uniformi e lineari Δt_N e Δt_M	41
4.3.1.2 Combinazione degli effetti uniformi e lineari	42
4.3.2 Carichi mobili (Q_k)	42
4.3.2.1 Verifiche globali	42
4.3.2.2 Verifiche locali	43
4.3.2.3 Verifiche a fatica	44
4.3.3 Azioni di frenatura (Q_{ik})	44

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

4.3.4	Azione del vento ($F_{w,k}$)	45
4.3.5	Azione sismica (E)	47
4.3.6	Azioni sui traversi per stabilizzare la piattabanda inferiore	51
5.	COMBINAZIONI DI CARICO	52
6.	ANALISI STRUTTURALE IMPALCATO	55
6.1	SOLLECITAZIONI TRAVE	55
6.2	DEFORMAZIONI E CONTRO FRECCE	81
6.2.1	Verifica massime deformazioni impalcato	82
6.2.2	Calibrazione contromonte d'officina	82
7.	VERIFICA IMPALCATO METALLICO	83
7.1	VERIFICA TRAVI LONGITUDINALI	84
7.1.1	S.L.U. - resistenza delle sezioni – rapporti di sfruttamento	84
7.1.2	S.L.E. - limitazione delle tensioni – rapporti di sfruttamento	90
7.1.3	S.L.E. frequente- "web breathing" – rapporti di sfruttamento	91
7.1.4	Verifiche a fatica – calcolo $\Delta\sigma_E$	92
7.1.5	Verifica connessione trave/soletta	95
7.1.5.1	Caratteristiche piolatura e detailing	95
7.1.5.2	Dettagli costruttivi	95
7.1.5.3	Riepilogo rapporti di sfruttamento verifica elastica S.L.U. - S.L.E. - fatica	96
7.1.5.4	Verifica dei pioli di estremità - influenza di ritiro e variazione termica - (SLU).....	98
7.1.6	Stabilità laterale – torsionale delle travi principali	99
7.1.7	Verifica del sistema di irrigidimento	103
7.1.8	Verifica stabilizzazione della piattabanda inferiore	109
8.	VERIFICA TRAVERSI	114
8.1	TRAVERSI DI CAMPATA (CORRENTI)	114
8.1.1	Verifica di SLU	123
8.1.2	Stabilità laterale torsionale	125

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

8.1.3	Verifica del Giunto bullonato	128
8.2	VERIFICA TRAVERSI IN ASSE APPOGGI	130
8.2.1	Verifica di SLU	135
8.2.2	Stabilità laterale torsionale	137
8.2.3	Verifica del Giunto bullonato	141
9.	VERIFICA A FESSURAZIONE IN DIREZIONE LONGITUDINALE	143
9.1	AREA MINIMA	143
9.2	CONTROLLO DELLA FESSURAZIONE PER CARICHI INDIRECTI	144
9.3	CONTROLLO DELLA FESSURAZIONE PER CARICHI DIRETTI	145
10.	VERIFICA SOLETTA IN CALCESTRUZZO	147
10.1	VERIFICA DELLE PREDALLE	148
10.2	VERIFICA IN FASE DI ESERCIZIO	155
10.2.1	Analisi dei carichi	155
10.2.2	Sollecitazioni di calcolo allo SLU e allo SLE	159
10.2.3	Verifica fascia "corrente" di soletta	172
10.2.3.1	Verifica a flessione della sezione in campata fra le travi	172
10.2.3.2	Verifica a presso\tenso flessione della sezione in appoggio sulla trave	175
10.2.3.3	Verifica a taglio	178
10.2.4	Verifica fascia "di bordo" della soletta	178
10.2.4.1	Verifica a presso\tenso flessione delle sezioni in appoggio ed in campata fra le travi	178
10.2.4.2	Verifica a taglio	181
10.3	RESISTENZA AL TAGLIO LONGITUDINALE	182
10.3.1	Verifica della sezione a-a	183
10.3.2	Verifica della sezione b-b	184
10.4	VERIFICA CORDOLO NEI CONFRONTI DELL'AZIONE D'URTO	184
11.	VERIFICA FASE DI SOLLEVAMENTO	186
11.1	DIMENSIONAMENTO MARTINETTI DI SOLLEVAMENTO	186

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

11.2 VERIFICA SEMPLIFICATA DI STABILITÀ	188
11.3 STRESS ANALYSIS	189
12. CONTROLLI TRAMITE VALUTAZIONI INDIPENDENTI	194
1 ALLEGATO 1	200
1.1 SEZIONE C1_1	200
1.2 SEZIONE C2_6	211
1.3 SEZIONE C3_8	226
1.4 SEZIONE C3_CRACKED_13	241
1.5 SEZIONE C4_CRACKED_15	256
1.6 SEZIONE C4_19	271
1.7 SEZIONE C5_22	282

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra l'analisi e le verifiche strutturali effettuate per la progettazione dell'impalcato del viadotto "Margi" carreggiata destra, previsto nell'ambito dei lavori di collegamento autostradale Ragusa-Catania: ammodernamento a n° 4 corsie della S.S. 514 "Di Chiaromonte" e della S.S. 194 Ragusana dallo svincolo con la S.S. 115 allo svincolo con la S.S. 114.

1.1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'opera in progetto prevede la realizzazione di un impalcato misto acciaio-calcestruzzo con schema statico a trave continua e luci pari a 30-50-30 m per la carreggiata sinistra e per la carreggiata destra. Pile e spalle presentano altezze molto simili fra le due carreggiate. Vista la somiglianza fra le due strutture si prevede di sviluppare le verifiche per la struttura in carreggiata sinistra e di estendere la validità delle stesse alla struttura in carreggiata destra.

La figura seguente mostra i prospetti delle due carreggiate.

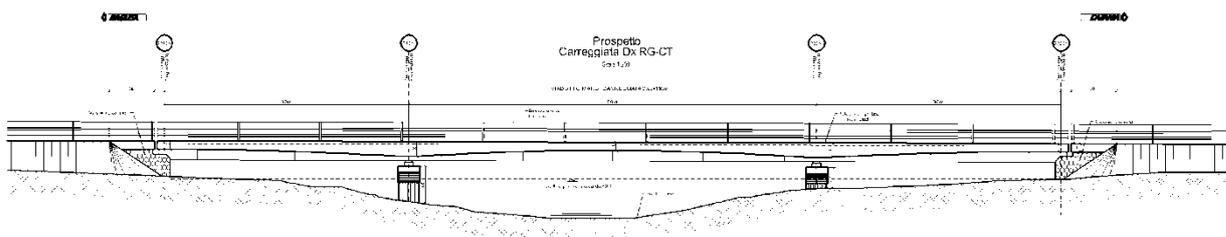


Figura 1.1: Prospetto carreggiata destra RG-CT

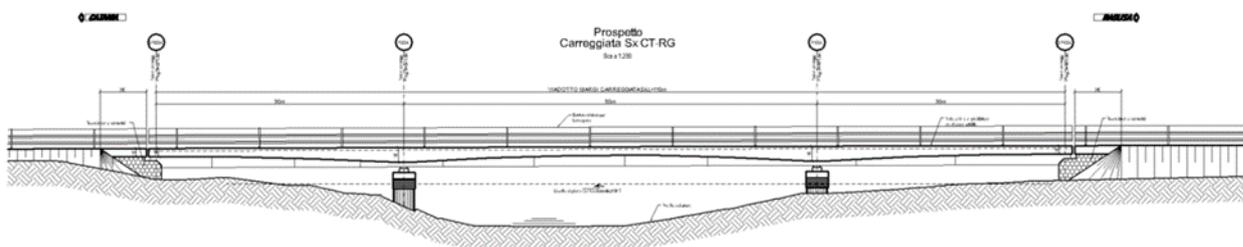


Figura 1.2: Prospetto carreggiata sinistra CT-RG

1.1.1 Impalcato

La sezione trasversale dell'impalcato prevede due travi metalliche con sezione a doppio T di altezza pari a 2300 mm disposte ad interasse trasversale di 6550 mm costante per le carreggiate destra e sinistra e traversi a trave posti a passo longitudinale variabile tra 4000 mm e 3750 mm. I traversi di testata sono realizzati mediante travi a doppio T, composte mediante saldatura, di altezza pari a 1300 mm, mentre i traversi intermedi sono costituiti da profilati tipo HEA800. Lo sviluppo longitudinale delle travi comprende diversi conci la cui anima non è provvista di irrigidimenti longitudinali, mentre gli irrigidimenti verticali sono realizzati in corrispondenza della giunzione coi traversi.

L'impalcato ha una larghezza di 11250 mm con cordoli da 750 mm, banchina sul lato sinistro della carreggiata di 500 mm, banchina sul lato destro di 1750 mm e due corsie da 3750 mm. La soletta di impalcato, solidarizzata alle travi, è gettata in opera e presenta spessore complessivo di 300 mm, al lordo delle lastre tipo predalles di spessore 60 mm. La solidarizzazione della soletta alle travi metalliche è affidata a idonei connettori a taglio di tipo a piolo Nelson aventi diametro $\varnothing 19$.

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

Sezione trasversale in campata

Scala 1:50

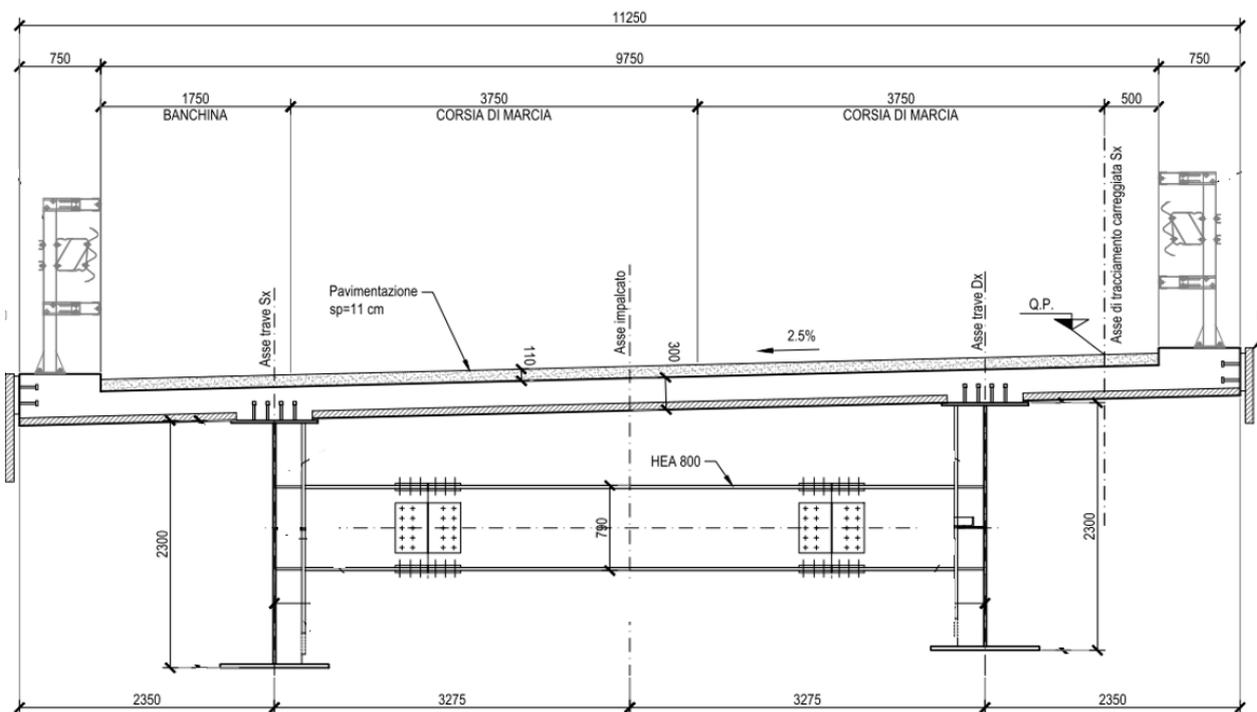


Figura 1.3: Sezione trasversale dell'impalcato

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

1.1.2 Sottostrutture

Le pile sono di tipo tradizionale in c.a. e sono costituite da fusti a sezione piena circolare di diametro 2,5 m sia per la carreggiata destra che sinistra. La sezione si mantiene con dimensioni costanti per tutta l'estensione del fusto e presenta un pulvino di sommità. Le fondazioni delle pile sono del tipo indiretto e sono costituite da plinti rettangolari di dimensioni 11,40 m x 6,90 su pali trivellati.

La geometria delle pile è riportata nella figura seguente:

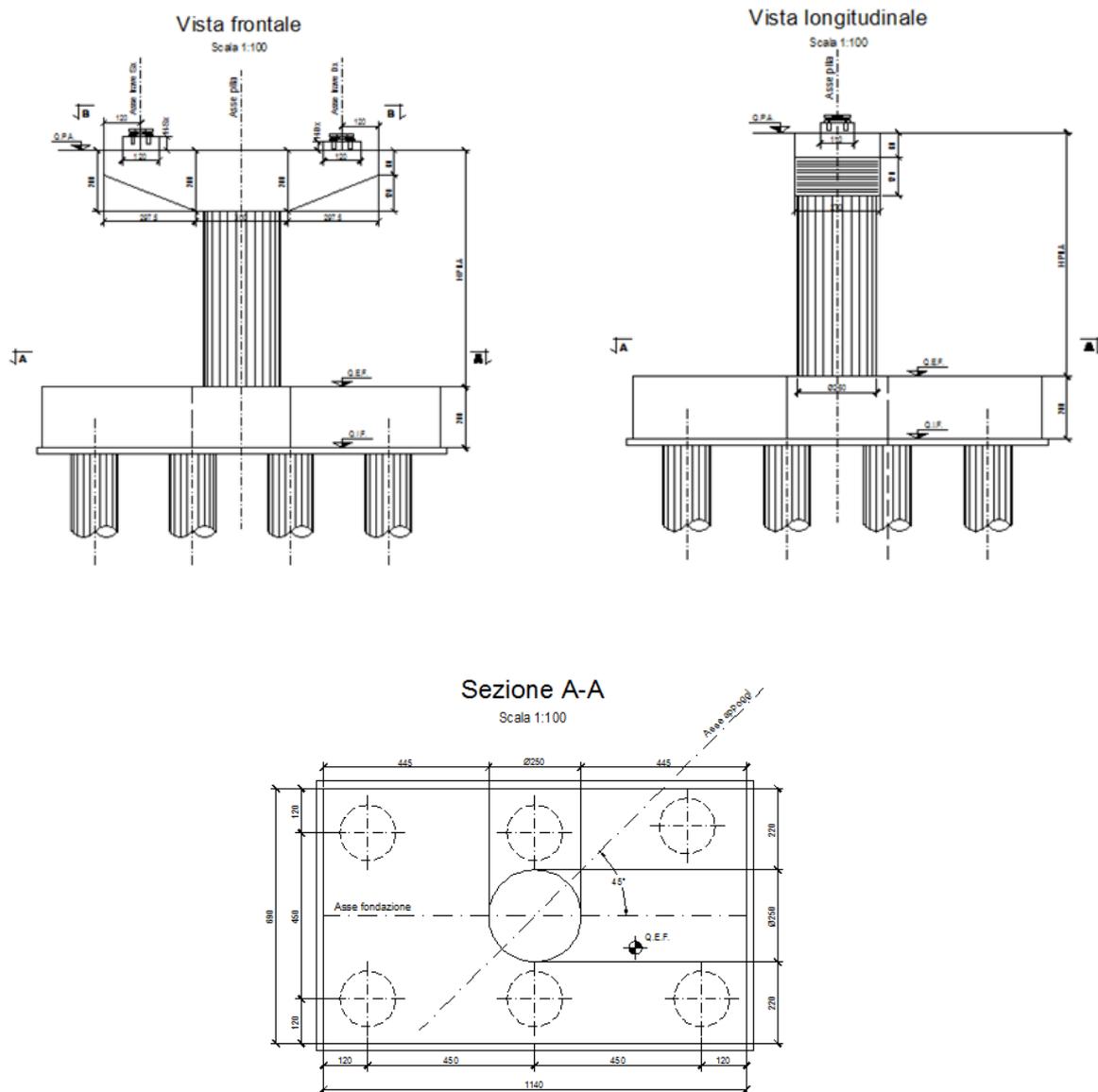


Figura 1.4: Sezione orizzontale, vista trasversale e longitudinale delle pile

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Nelle seguenti tabelle vengono riportati lo spessore della platea di fondazione, nonché il numero, il diametro e la lunghezza dei pali disposti.

VIADOTTO MARGI - PILE				
Pila	N. Pali	L Pali (m)	Diam. Pali (m)	Spessore platea (m)
P1Sx	6	38	1,2	2
P2Sx	6	38	1,2	2
P1Dx	6	38	1,2	2
P2Dx	6	38	1,2	2

Tabella 1.5: Caratteristiche geometriche delle fondazioni delle pile

Le spalle sono di tipo tradizionale in c.a. e sono costituite da un muro frontale di spessore 2.65 m sia per la carreggiata destra che sinistra. La sezione si mantiene con dimensioni costanti per tutta l'altezza e presenta in sommità un paraghiaia di spessore 0.55 m. Le fondazioni delle pile sono del tipo indiretto e sono costituite da plinti rettangolari di dimensioni 10.20 m x 13 m su pali trivellati.

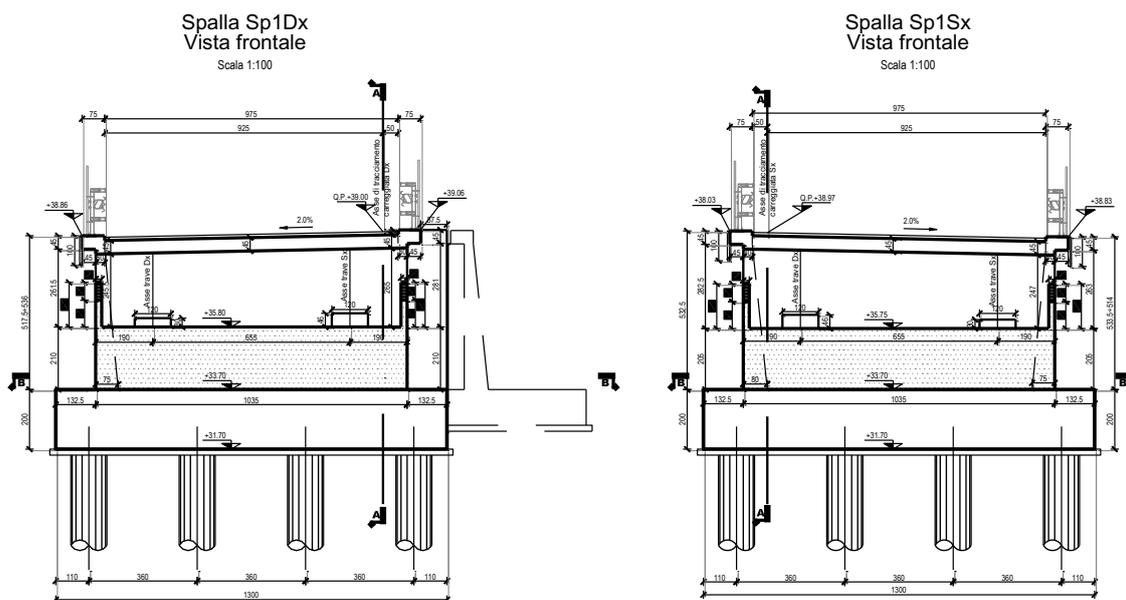


Figura 1.6: Vista frontale spalle SP1

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

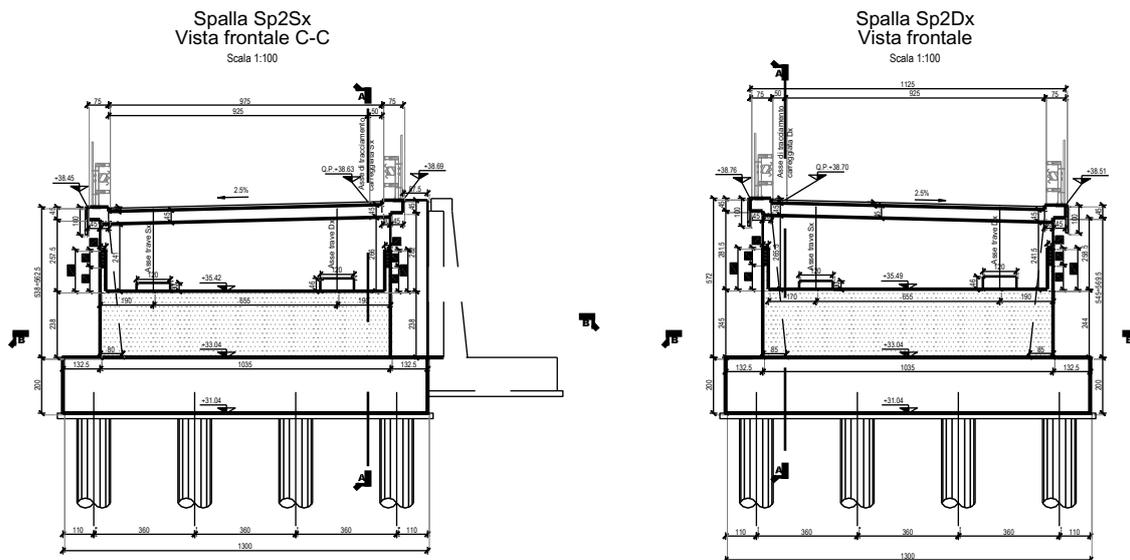


Figura 1.7: Vista frontale spalle SP2

Le spalle della via di corsa destra risultano planimetricamente sfalsate rispetto alla via di corsa sinistra. Per tale motivo, la carpenteria della spalla destra differisce dalla sinistra, mancando il muro di risvolto posteriore posto sul lato interviala. Il seguente stralcio planimetrico mostra la situazione per la spalla 1.

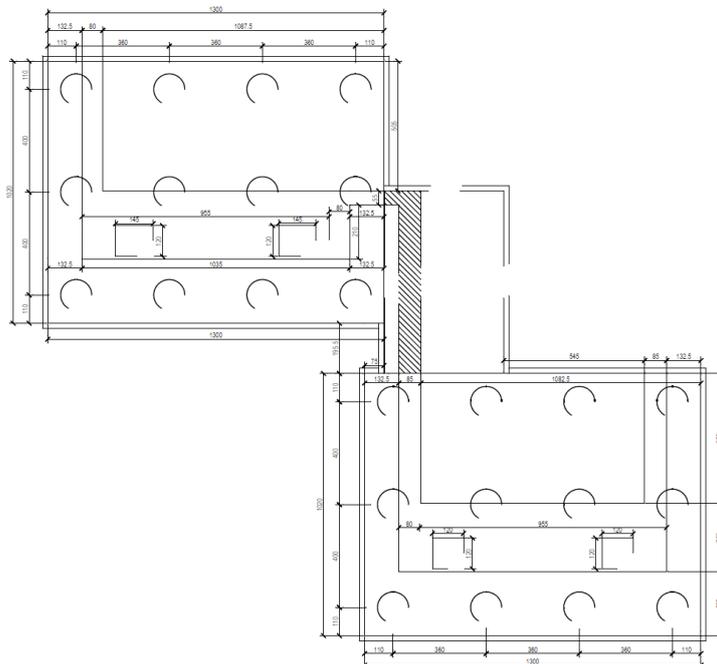


Figura 1.8 Disallineamento spalle via dx/sx

Nelle seguenti tabelle vengono riportati lo spessore della platea di fondazione, nonché il numero, il diametro e la lunghezza dei pali disposti.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

VIADOTTO MARGI - SPALLE				
Spalla	N. Pali	L Pali (m)	Diam. Pali (m)	Spessore platea (m)
Sp1Sx	12	32	1,2	2
Sp2Sx	12	32	1,2	2
Sp1Dx	12	32	1,2	2
Sp2Dx	12	32	1,2	2

Tabella 1.9: Caratteristiche geometriche delle fondazioni delle spalle

1.1.3 Sistema di vincolo

Il sistema di vincolo viene determinato con riferimento ad una strategia di protezione sismica basata sull'utilizzo di isolatori elastomerici ad alta dissipazione.

L'utilizzo di tali dispositivi consente di disaccoppiare in modo sostanziale il moto della sovrastruttura rispetto alle sottostrutture, dissipando energia attraverso i cicli di deformazione dell'elastomero.

L'incremento del periodo di oscillazione della sovrastruttura, e la dissipazione di energia, consentono di ridurre drasticamente l'entità della domanda in termini di sollecitazione, che le sottostrutture sono chiamate a sopportare durante l'evento sismico.

Il dimensionamento dei dispositivi viene effettuato a partire dai dati di "portata" verticale in condizione di esercizio e sismica, unitamente al valore di rigidità che si intende conseguire, al fine di ottenere un periodo di oscillazione intorno ai 2 s.

Si sono selezionate le caratteristiche dei dispositivi indicate di seguito.

Dispositivi HDRB – mescola "N":

Diam = 850 mm / H=341 mm per le pile $K_e = 2.23 \text{ kN/mm}$;

Diam = 700 mm / H=327 mm per le spalle $K_e = 1.48 \text{ kN/mm}$.

1.2 MODALITÀ REALIZZATIVE

Le fasi costruttive del viadotto sono le seguenti:

- Delimitazione aree di cantiere
- Realizzazione aree di cantiere, viabilità secondaria e piste di cantiere
- Realizzazione opere provvisionali
- Realizzazione spalle e pile carreggiata destra e sinistra
- Realizzazione impalcato e rilevato destro e sinistro vicino a spalle viadotti destro e sinistro

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- Completamento carreggiata destra in viadotto
- Deviazione del traffico nella carreggiata destra
- Completamento carreggiata sinistra in viadotto
- Apertura del traffico nella carreggiata sinistra

Successivamente alla realizzazione di fondazioni di pile e spalle e alla realizzazione delle elevazioni di pile e spalle (comprensive di baggioli ed appoggi) si provvede all'assemblaggio della carpenteria metallica per conci, tenendo conto della contromonta di progetto, in appositi piazzali disposti a fianco dell'allineamento delle pile. Delle gru con braccio allungabile solleveranno da sole o in tandem l'ossatura metallica fino alla quota di posa, permettendo la giunzione di quest'ultima con le travi metalliche precedentemente poste in opera. Una volta montata la carpenteria metallica, sono disposte le predalles autoportanti e si provvede alla posa dell'armatura longitudinale e trasversale e quindi al getto della soletta e successivamente dei cordoli, il getto ingloberà gli attacchi per le velette prefabbricate che saranno montate a indurimento avvenuto dei cordoli.

Per il getto della soletta dovrà essere rispettata una precisa fasizzazione dei getti, descritta in dettaglio negli elaborati grafici.

In direzione longitudinale, tale fasizzazione prevede, quale criterio generale, che nella realizzazione del getto della soletta venga posticipato il getto della zona di testa pila rispetto al quello delle zone di campata, che dovrà essere effettuato solamente dopo la presa del getto realizzato in prima fase. Allo scopo, il getto delle zone "di campata" sarà esteso a partire dall'asse giunto, fino alla sezione posta a circa l'85% della luce della campata; seguirà quindi il getto della zona di testa pila, di lunghezza pari a circa 15 % (L1+L2). Tale accorgimento consente di evitare premature fessurazioni nella zona di testa pila dovute al progredire dei getti nelle sezioni di campata.

In direzione trasversale, dovrà rispettarsi lo schema getto dettagliato nell'elaborato delle predalles, dove si prevede di gettare in prima fase i campi di soletta posizionati in prossimità dell'asse travi, procedendo in fase successiva al getto degli sbalzi, seguiti dal getto del campo centrale di soletta. Questo accorgimento è destinato al contenere il quadro tensodeformativo dell'assieme, evitando inoltre l'insorgere di eccessive deformazioni permanenti.

1.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.3.1 Carpenteria metallica

Si adottano elementi conformi alla EN10025.

Si prevede utilizzo di acciaio S355J2W sia per le membrature principali che per le secondarie saldate.

Si prevede utilizzo di acciaio S355J0W sia per piastre ed angolari non saldati.

Le tensioni di snervamento vengono dedotte con riferimento alla tab. 3.1 della EN 1993-1-1, ottenendo:

$$f_y = 355.0 \text{ MPa} \quad \text{per } t \leq 40.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 335.0 \text{ MPa} \quad \text{per } 40.0 < t \leq 80.0 \text{ mm}$$

I coefficienti γ_m per i vari stati limite di riferimento vengono presi dalla medesima norma, in accordo con i N.A.D. nazionali. In particolare, si è assunto:

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$\gamma_{m0} = 1.05$ verifiche S.L.U. resistenza

$\gamma_{m1} = 1.1$ verifiche S.L.U. stabilità

$\gamma_{m,ser} = 1.0$ verifiche S.L.E. tensioni

Le verifiche a fatica verranno effettuate con il metodo "a danneggiamento (damage tolerant method)" e per la carpenteria metallica si utilizza cautelativamente il coefficiente:

$\gamma_m = 1.35$ dettagli "failure high consequence"

Per quanto riguarda i rimanenti parametri di progetto afferenti all'acciaio da carpenteria, si è assunto:

$E_s = 210000$ MPa modulo elastico

$\nu_s = 0.3$ coefficiente di Poisson

$G_s = 80769.23$ MPa modulo di elasticità tangenziale

1.3.2 Connettori trave-soletta

La connessione trave soletta è concepita ad pieno ripristino. Si impiegano pioli "Nelson" aventi le seguenti caratteristiche (EN 10025):

- S235J2+450C

- tensione di rottura a trazione: $f_u \geq 450$ MPa

I coefficienti di sicurezza assunti sono in questo caso:

$\gamma_v = 1.25$ verifiche S.L.U. della connessione.

$k_s = 0.60$ fattore di riduzione della resistenza di progetto.

Le verifiche a fatica verranno effettuate con il metodo "a danneggiamento (damage tolerant method)".

Per i connettori a pioli, la EN1994-2 al punto 2.4.1.2(6), ed il relativo Annesso Nazionale raccomandano di utilizzare $\gamma_{mf,s} = 1$; tuttavia si utilizzerà cautelativamente $\gamma_{mf,s} = 1.15$.

1.3.3 Giunzioni bullonate

Le giunzioni bullonate saranno a serraggio controllato, di classe B (cfr. tab. 3.2 di EN 1993-1-8, 3.4(P)1 per le unioni principali, di classe A per i controventi di montaggio.

Gli elementi componenti il collegamento (vite, dado, piastrina) dovranno essere conformi alle parti rilevanti della norma EN 14399.

Gli elementi componenti la bullonatura sono conformi alle seguenti classificazioni:

Viti: Classe 10.9 secondo UNI EN ISO 898-1 2001

Dadi: Classe 10 secondo UNI EN 20898-2 1994

Rosette: Acciaio C50 secondo UNI EN 10083-2 2006
Pertanto, ai fini delle verifiche:

$f_{yb} = 900.0$ MPa

$f_{ub} = 1000.0$ MPa

I coefficienti di sicurezza parziali adottati per la verifica delle bullonature sono presi con riferimento alla tab. 2.1 della EN 1993-1-8 ed al relativo N.A.D. nazionale.

Conformemente alla tipologia di bullonatura prevista, verrà effettuata la verifica nei confronti della rottura del bullone allo S.L.U., e quella allo slittamento allo S.L.E., con riferimento ai seguenti coefficienti γ_m :

$$\gamma_{m2} = 1.25 \quad \text{S.L.U., resistenza bulloni}$$

$$\gamma_{m3ser} = 1.1 \quad \text{S.L.E., slittamento bullonature di classe B}$$

La preparazione delle superfici dovrà essere conforme a quanto previsto dalla tabella 18 del cap. 8.4 di EN 1090-2, per superfici di classe "C" ($\mu_{min} = 0.3$).

1.3.4 Giunzioni saldate

Per la realizzazione dell'opera in esame si prevede l'impiego di unioni saldate a piena penetrazione, adottate in particolare per la realizzazione delle giunzioni tra i vari conci, e unioni a cordoni d'angolo, impiegate per le saldature di composizione dei piatti che formano le travi principali ed i traversi, e per la saldatura degli irrigidenti verticali.

Per le norme specifiche relative ai processi ed ai componenti si rimanda ai contenuti del D.M 14-1-2008 (NTC) e alla EN 1090-2.

Il coefficiente di sicurezza γ_m applicato alla verifica delle giunzioni saldate risulta (tab. 2.1.EN 1993-1-8 + N.A.D.):

$$\gamma_{m2} = 1.25 \quad \text{S.L.U. . resistenza}$$

Ai fini delle verifiche delle saldature a cordoni d'angolo, la resistenza del materiale verrà corretta mediante il correlation factor:

$$\beta = 0.9 \quad \text{per S355}$$

1.3.5 Calcestruzzo

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo sono riportate nel seguito.

1.3.5.1 Soletta e Predalle

C32/40	classe di resistenza
$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica cilindrica a compressione
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ N/mm}^2$	resistenza a compressione media
$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33'642 \text{ N/mm}^2$	modulo elastico secante
$\nu = 0.2$	coefficiente di Poisson
$\gamma_c = 1.5$	coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc} = 0.85$	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 18.81 \text{ N/mm}^2$	resistenza di calcolo a compressione

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

ϵ_{cu} = 3.5 per mille

deformazione ultima a rottura

Le caratteristiche del calcestruzzo dovranno rispettare, anche i criteri di seguito elencati ed in particolare quelli previsti dalla vigente normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

Soletta impalcato

Classe di consistenza	S4
Classe di esposizione	XC4 - XF4
Dimensione massima aggregati	20 mm
Classe di contenuto in cloruri	0.20
Copriferro	40 mm

Predalle

Classe di consistenza	S4
Classe di esposizione	XC3
Dimensione massima aggregati	12 mm
Classe di contenuto in cloruri	0.20
Copriferro	25 mm

1.3.5.2 Parametri reologici calcestruzzo soletta

Per tenere conto degli effetti di lungo termine, si farà riferimento a parametri reologici calcolati secondo come di seguito riportato, seguendo gli approcci contenuti in EN 1992-1-1.

Allo scopo, per la valutazione degli effetti della viscosità, si sono differenziate, tra le azioni di lungo termine, quelle di carattere costante nel tempo (es. carichi permanenti), e quelle a carattere evolutivo (es. effetti del ritiro, cedimenti del terreno) e quelle dovute a distorsioni imposte (es. presollecitazione appoggi).

Per ciascuna tipologia verrà effettuata una specifica analisi, basata sui rispettivi coefficienti di omogeneizzazione, valutati secondo i criteri contenuti in EN 1994-1/EN 1994-2, come esplicitato di seguito.

VISCOSITA' E RITIRO
(EN 1992-1-1, EN 1994)

Caratteristiche del cls a tempo zero

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Resistenza a compressione caratteristica, f_{ck} (N/mm ²)	33.20
Resistenza a compressione media, $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (N/mm ²)	41.20
Modulo elastico secante, $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$ k (N/mm ²)	33'642.78
Coefficiente di correzione, k	1.00
Tipo di aggregati presenti nell'impasto	Quarziti
Classe del cemento	N

Coefficienti di omogeneizzazione

Moduli elastici Longitudinali		Moduli elastici Tangenziali	
nE a tempo 0	6.242	nG a tempo 0	5.762
nE(t,t ₀) - Permanenti	16.924	nG(t,t ₀) - Permanenti	15.622
nE(t,t ₀) - Ritiro	16.314	nG(t,t ₀) - Ritiro	15.059
nE(t,t ₀) - Def. imposte	20.809	nG(t,t ₀) - Def. imposte	19.208

Tempo e ambiente

Eta' del calcestruzzo in giorni all'inizio del ritiro per essiccamento, t_s	1
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione dei carichi permanenti, t_0	30
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione del ritiro, t_0	1
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte, t_0	30
Eta' del calcestruzzo in giorni, t	36'500
Dimensione fittizia dell'elemento di cls, $h_0 = 2A_c/u$ (mm)	480
Sezione dell'elemento, A_c (mm ²)	2'700'000.00
Perimetro a contatto con l'atmosfera, u (mm)	11'250.00
Umidita' relativa percentuale, RH (%)	75

Coefficiente di viscosita' $\varphi(t,t_0)$ e modulo elastico E_{cm} al tempo "t"

Coefficiente di viscosita' $\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \beta_c(t,t_0) =$ al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1.556
al momento dell'applicazione del ritiro	2.934
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1.556

Coefficiente nominale di viscosita', $\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$ al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1.569
al momento dell'applicazione del ritiro	2.959
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1.569

Coefficiente per l'evoluzione della viscosita' nel tempo, $\beta_c(t_0) = 1/(0.1+t_0^{0.20})$ al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	0.482
al momento dell'applicazione del ritiro	0.909
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	0.482

Eta' del calcestruzzo corretta in funzione della tipologia di cemento, $t_0 = t_0 [9/(2+t_0^{1.2})+1]^\alpha \geq 0.5$ al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	30.00
al momento dell'applicazione del ritiro	1.00
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	30.00

Coefficiente per la variabilita' della viscosita' nel tempo, $\beta_c(t,t_0) = [(t-t_0)/(\beta_H + t-t_0)]^{0.30}$ al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	0.991
al momento dell'applicazione del ritiro	0.991
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	0.991

Modulo elastico al tempo "t", $E_{cm}(t,t_0) = E_{cm} / [1+\psi*\varphi(t,t_0)]$ al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	12'408
al momento dell'applicazione del ritiro	12'872

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	10'092
$\psi =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1.100
al momento dell'applicazione del ritiro	0.550
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1.500
Altri dati:	
Coefficiente che tiene conto dell'umidità, $\varphi_{RH} = 1 + [(1-RH/100)/(0.1h_0^{1/3})] \alpha_1$	1.244
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_1 = (35/f_{cm})^{0.7}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_1 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0.892
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_2 = (35/f_{cm})^{0.2}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_2 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0.968
Coefficiente per la resistenza del cls, $\beta_c(f_{cm}) = 16.8/f_{cm}^{0.5}$	2.617
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha =$	0
Coefficiente che tiene conto dell'umidità, $\beta_H = 1.5 [1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250$ $\alpha_3 \leq 1500$ α_3	1'058
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_3 = (35/f_{cm})^{0.5}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_3 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0.922

Deformazione di ritiro $\epsilon_s(t, t_0)$

$\epsilon_s(t, t_0) = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}(t) = 0.000272$

Dove:

Deformazione dovuta al ritiro per essiccamento, $\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) k_h \epsilon_{cd,0}$	0.000214
Coeff. per la variabilità della deformazione nel tempo, $\beta_{ds}(t, t_s) = (t-t_s)/[(t-t_s)+0.04(h_0^3)^{0.5}] =$	0.989
Parametro che dipende da h_0 (vedi prospetto seguente), $k_h =$	0.71
Deformazione di base, $\epsilon_{cd,0} = 0.85 [(220+110\alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} * f_{cm}/f_{cm0})] 10^{-6} \beta_{RH} =$	0.000307
$\beta_{RH} = 1.55 [1 - (RH/RH_0)^3] =$	0.896
$f_{cm0} =$	10 Mpa
$RH_0 =$	100%
Coefficiente per il tipo di cemento, α_{ds1}	4
Coefficiente per il tipo di cemento, α_{ds2}	0.12
Deformazione dovuta al ritiro autogeno, $\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \epsilon_{ca00} =$	0.0000580
$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) =$	1.00
$\epsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10) 10^{-6} =$	0.0000580

Valori di k_h

h_0	k_h
100	1.00
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

1.3.6 Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata

B450C controllato in stabilimento	classe di resistenza
$f_{yk} = 450$ N/mm ²	resistenza caratteristica di snervamento
$\gamma_s = 1.15$	coefficiente parziale di sicurezza
$E_s = 200000$ N/mm ²	modulo elastico

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$\nu = 0.3$	coefficiente di Poisson
$k = (f_t/f_y)_k = 1.2$	rapporto di sovraresistenza
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k = 0.075$	deformazione ultima caratteristica
$\epsilon_{ud} = 0.9 * \epsilon_{uk} = 0.0675$	deformazione ultima di calcolo

1.4 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 quindi i seguenti documenti, che volta in volta verranno opportunamente richiamati:

D.M. 14.01.2008:	Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC")
Circolare Min LLPP 617:	Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D. Min. 14 gennaio 2008
D.M. 31.07.2012	Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici
UNI EN 1990:	Basi della progettazione strutturale
UNI EN 1991-1-4:	Azioni sulle strutture – Azione del vento
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
UNI EN 1993-1-1:	Progettazione delle strutture di acciaio – Regole generali e regole per gli edifici
UNI EN 1993-2:	Progettazione delle strutture di acciaio – Ponti di acciaio
UNI EN 1993-1-5:	Progettazione delle strutture di acciaio – Elementi strutturali a lastra
UNI EN 1993-1-8:	Progettazione delle strutture di acciaio – Progettazione dei collegamenti
UNI EN 1993-1-9:	Progettazione delle strutture di acciaio – Fatica
UNI EN 1994-1-1:	Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici
UNI EN 1994-2:	Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti
UNI EN 1998-2:	Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti
UNI EN 1090-2:	Execution of steel structures and aluminium structures - part 2: technical requirements for steel structures

1.4.1 Classe di esecuzione

La UNI EN 1090 Introduce il concetto di "Execution Class" in termini di requisiti specificati, classificati per l'esecuzione di un'opera nel suo complesso, di un singolo componente o di un dettaglio di un componente. La classe di esecuzione seleziona e specifica il livello di qualità appropriato riguardo alla sicurezza che quel componente avrà nell'opera di costruzione. La scelta della classe di esecuzione dovrebbe prendere in considerazione il tipo di materiale utilizzato, l'affidabilità data dalla classe di conseguenza (CC) e i rischi potenziali dati dalla:

- Categoria di servizio, legata al rischio dell'installazione/utilizzo (SC);
- Categoria di produzione, legata alla complessità di esecuzione (PC).

1.4.1.1 Scelta della classe di conseguenza

Nell'Eurocodice 0 EN 1990 "Criteri generali di progettazione" all'appendice B Tabella B1 "differenziazione dell'affidabilità strutturale per le costruzioni" sono riportate le classi di conseguenza in caso di malfunzionamento della struttura, definite in base all'impatto sulla popolazione, ambiente, vite umane, sociali.

1.4.1.2 Classe di rischio connessa all'utilizzo della struttura (categorie di servizio)

È necessario tener conto che in una struttura possono essere contenuti componenti strutturali di entrambe le classi di rischio. In questo caso, al fine di una corretta determinazione della classe di esecuzione dell'opera la scelta cadrà sulla classe di servizio maggiormente restrittiva.

Classe di conseguenza SC_i (i = 1,2)

SC1 = sollecitazione statica

SC2 = sollecitazione dinamica a fatica

1.4.1.3 Classe di rischio connessa alla difficoltà nell'esecuzione della struttura (categorie di produzione).

Classe di produzione PC_i (i = 1,2)

PC1 = no saldature e acciai con grado < S355

PC2 = componenti saldati e acciaio con grado ≥ S355

1.4.1.4 Determinazione della classe di esecuzione

Selezionata la Classe di Conseguenza (CC_i; i=1,2,3) espressa in termini di perdita di vite umane, di conseguenze economiche, sociali ed ambientali (vedere EN 1990), selezionata la Categoria di Servizio e la Categoria di Produzione si determina la Classe di Esecuzione come risultato delle due operazioni precedenti, secondo quanto previsto nella tabella seguente (TAB B3 della EN1090-2).

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tabella di determinazione della classe di esecuzione							
Classi di conseguenza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4
La classe di esecuzione EXC4 deve essere scelta in caso di strutture con estreme conseguenze determinate dal cedimento della struttura, in base a disposizioni legislative.							

Per la struttura in oggetto si assume una classe di conseguenza CC2, una categoria di servizio SC2 e una categoria di produzione PC2 pertanto la struttura va realizzata in classe di esecuzione EXC3.

1.5 SOFTWARE DI CALCOLO

L'analisi della struttura viene eseguita tramite modellazione con il metodo degli elementi finiti, adottando il sistema software "LUSAS (vers. 19.0)", fornito da F.E.A. Ltd (U.K.) su piattaforma windows 10; il pacchetto software comprende pre-post processore grafico interattivo destinato all'input della geometria di base ed all'interpretazione dei risultati di output, ed un risolutore ad elementi finiti.

Per le verifiche delle sezioni acciaio calcestruzzo si adotta il programma "Ponti EC4" sviluppato e testato da Alhambra s.r.l.. Il programma opera sulla base di un database di sezioni opportunamente sincronizzato con quello del sistema ad elementi finiti, ed effettua le verifiche di resistenza e di stabilità locale di membrature in acciaio ed acciaio-cls sulla base dei criteri contenuti negli Eurocodici di riferimento (EN 1993, EN 1994), e in osservanza a quanto previsto da NTC-08.

Tutti i software sono dotati di "verification manual" che potrà essere fornito su richiesta.

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si utilizzano alternativamente il software RC-SEC della Geostru o il software VCASTLU del Prof. Gelfi.

Per la valutazione della stabilità laterale torsionale di profili standard, si utilizza il tool dedicato "LTBeam", messo a punto dal consorzio europeo CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique).

In particolare, la procedura per la verifica delle sezioni miste acciaio-cls prevede, per ciascuna sezione, le seguenti verifiche:

- calcolo proprietà geometrico - statiche delle sezioni nelle varie fasi considerate

S.L.U. :

- preclassificazione e classificazione delle sezioni
- pressoflessione (interazione N/M): analisi e verifica plastica di ciascuna sezione, e deduzione del rapporto di sfruttamento plastico (sezioni classe 1 e 2)
- pressoflessione (interazione N/M): Analisi tensionale elastica su sezione lorda, con calcolo del rapporto di sfruttamento elastico (sezioni di classe 3)
- pressoflessione (interazione N/M): Analisi tensionale elastica su sezione lorda e sezione efficace (depurata dagli effetti del local buckling), con calcolo del rapporto di sfruttamento elastico (sezioni di classe 4)
- taglio: verifica a taglio plastico, includendo i fenomeni di shear buckling

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- interazione pressoflessione - taglio (N-M-V): deduzione del rapporto di sfruttamento finale della sezione

- verifica S.L.U. delle piolature

- deduzione della sovratensione nelle piolature per effetto della plasticizzazione per flessione

S.L.E. :

- verifica elastica S.L. delle tensioni in esercizio

- verifica Web Breathing

- fessurazione soletta

- verifica elastica piolature

Fatica:

- verifica, con il metodo dei coefficienti λ , per preselezionate categorie di dettaglio;

- verifica, con il metodo dei coefficienti λ , della connessione travi/soletta

Nella presente relazione vengono riportati i risultati salienti delle verifiche, ed effettuato di volta in volta un sintetico inquadramento delle ipotesi di base. Le verifiche per esteso vengono riportate in allegato.

1.6 CONVENZIONI GENERALI, PER LE VERIFICHE E LE ANALISI GLOBALI

Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

lunghezze: m

forze - coppie: N, Nm

tensioni: N/mm²

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

Per quanto riguarda le azioni interne nell'impalcato, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

Fx azione assiale

Fy azione tagliante agente nel piano orizzontale

Fz azione tagliante agente nel piano verticale

Mx momento torcente

My momento flettente agente nel piano verticale

Mz momento flettente agente nel piano orizzontale

Le verifiche dell'impalcato verranno eseguite esclusivamente con riferimento alle caratteristiche Fx, Fz, My, dal momento che risultano non significativi i contributi Fy, Mx ed Mz.

Le notazioni impiegate sono conformi a quelle impiegate negli Eurocodici ed indicate nei relativi capitoli introduttivi.

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

M (Mf) in luogo di My

V in luogo di Fz

T in luogo di Mx

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

Si riporta la convenzione dei segni rispettivamente per il momento flettente e per il taglio negli schemi seguenti.

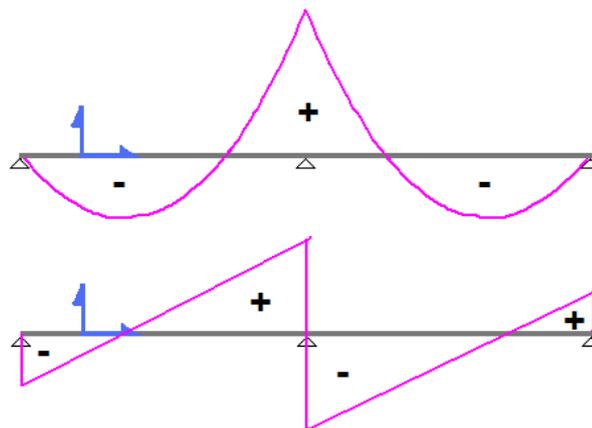


Figura 1.10: Convezione sui segni

2. IMPOSTAZIONI DELLE ANALISI E DELLE VERIFICHE

2.1 ANALISI DELLA STRUTTURA COMPOSTA

La struttura composta acciaio-calcestruzzo verrà analizzata secondo il metodo classico adottato per questi tipi di strutture, che prevede il calcolo delle caratteristiche geometrico-statiche delle varie sezioni sulla base di una sezione equivalente, in cui la porzione in calcestruzzo viene "omogeneizzata" ad acciaio in funzione del rapporto $E_s/E_{c(t)}$, essendo $E_{c(t)}$ il modulo elastico del calcestruzzo valutato in funzione del tipo di carico applicato, tenendo conto, ove opportuno, dei fenomeni a lungo termine.

Viene pertanto effettuata l'analisi separata e conseguente sovrapposizione dei quadri tensionali afferenti alle varie "fasi" attraversate dalla struttura, ciascuna delle quali si differenzia dalle altre per lo schema statico di analisi e/o per la proprietà delle sezioni.

2.1.1 Fasi

Le caratteristiche geometrico-statiche delle sezioni di impalcato si differenziano in funzione delle caratteristiche della soletta in c.a., per la quale verranno considerati gli effetti dovuti alla viscosità, sulla base di coefficienti di omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo opportunamente modificati. Nel caso più generale, si studieranno pertanto le seguenti fasi:

- fase 1: assenza soletta (fase iniziale);

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- fase 2a: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati ad istante successivo al getto, e di intensità costante nel tempo (es. permanenti di finitura);
- fase 2b: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati ad istante t_1 immediatamente dopo il getto, ed aventi sviluppo nel tempo parallelo a quello dei fenomeni differiti (ritiro);
- fase 2c: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per coazioni e/o cedimenti vincolari imposti all'istante t_1 dal il getto, ed aventi sviluppo nel tempo costante.
- fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine
- fase "cracked" soletta fessurata schematizzata mediante il conteggio delle sole armature longitudinali presenti in soletta.

Per il caso in esame non è prevista l'applicazione di coazioni imposte, pertanto la fase "2c" non verrà considerata.

La tabella seguente riporta, fase per fase, i vari contributi di carico considerati nelle analisi.

Fase	Carico	Sezione resistente	Connessione
1	P.p. acciaio P.p. soletta Coazioni imposte	Sezione metallica	Non attiva
2a	Permanententi portati	Sezione omogeneizzata con $n = nL$ perm.	Attiva
2b	Ritiro Cedimenti vincolari	Sezione omogeneizzata con $n = nL$ ritiro.	Attiva
3	Carichi da traffico Variazioni termiche Vento	Sezione omogeneizzata con $n = n0$	Attiva

Tabella 2.1: Carichi agenti nelle varie fasi

2.2 DATI GENERALI DELLE SEZIONI DI IMPALCATO

2.2.1 Larghezze collaboranti di soletta

Le larghezze collaboranti di soletta vengono valutate sulla base dei criteri contenuti in EN 1994-2, punto 5.4.1.2 (NTC 2008, punto 4.3.2.3.), e richiamati nella figura seguente.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

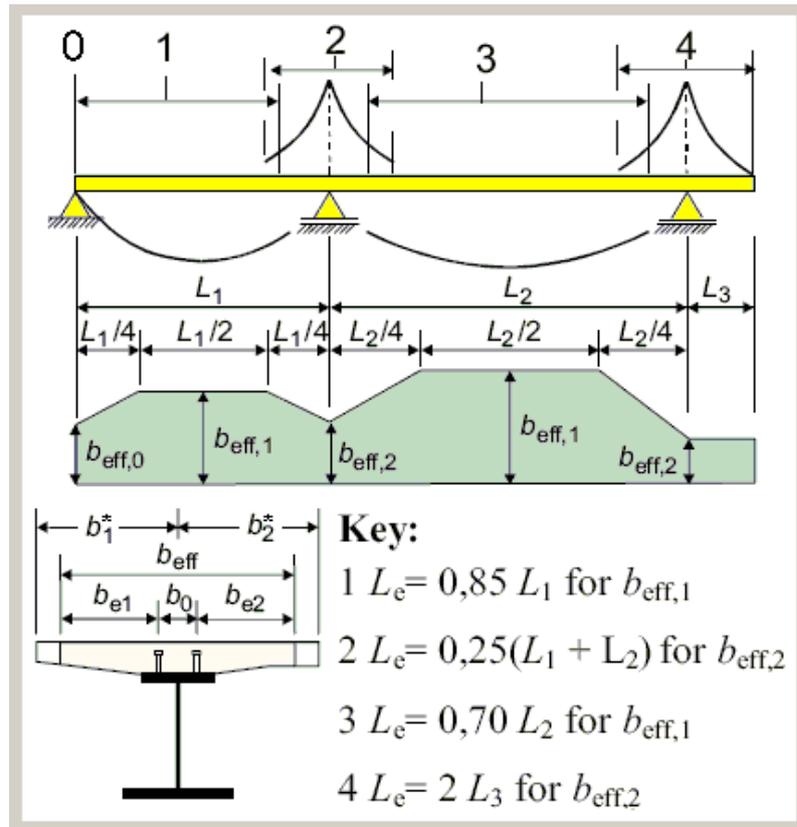


Figura 2.1: Criteri per la determinazione della larghezza collaborante di soletta

I calcoli sono riportati nella tabella e nel grafico che seguono.

X (m)	b1* (mm)	b2* (mm)	b0 (mm)	Tipo	beff (mm)	Le (m)	be1 (mm)	be2 (mm)	beta1	beta2
0	2'350	3'275	600	0	4'639	25.50	2'050	2'975	0.861	0.764
7.5	2'350	3'275	600	1	5'625	25.50	2'050	2'975	1.000	1.000
22.5	2'350	3'275	600	1	5'625	25.50	2'050	2'975	1.000	1.000
30	2'350	3'275	600	2	5'150	20.00	2'050	2'500	1.000	1.000
42.5	2'350	3'275	600	3	5'625	35.00	2'050	2'975	1.000	1.000
67.5	2'350	3'275	600	3	5'625	35.00	2'050	2'975	1.000	1.000
80	2'350	3'275	600	2	5'150	20.00	2'050	2'500	1.000	1.000
87.5	2'350	3'275	600	1	5'625	25.50	2'050	2'975	1.000	1.000
102.5	2'350	3'275	600	1	5'625	25.50	2'050	2'975	1.000	1.000
110	2'350	3'275	600	0	4'639	25.50	2'050	2'975	0.861	0.764

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

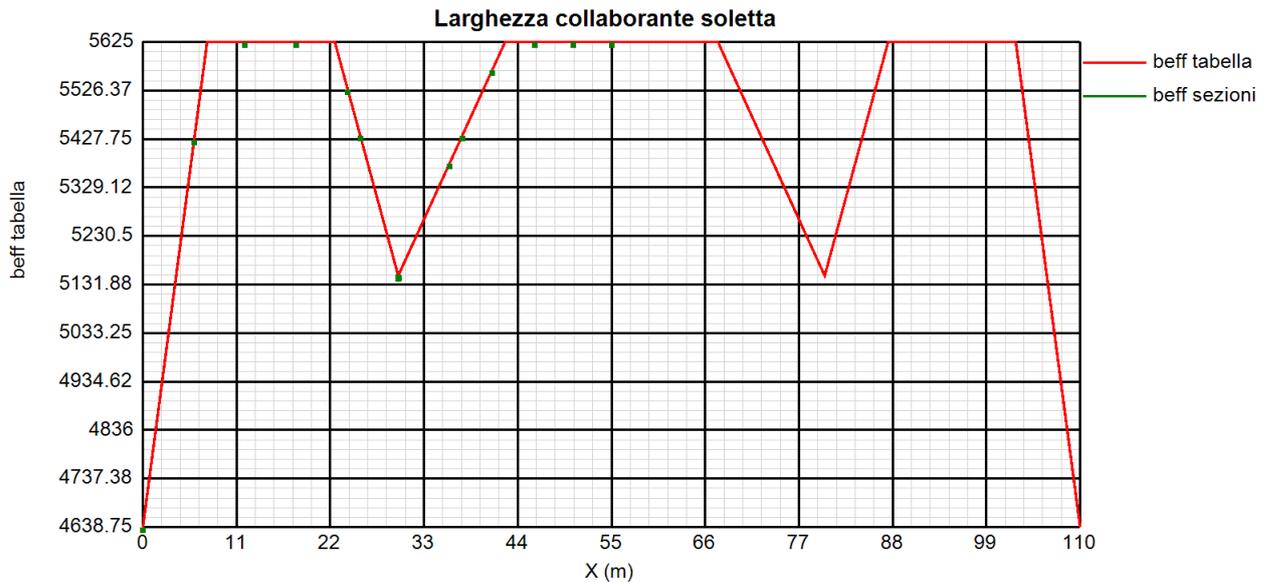


Figura 2.2: Larghezza collaborante della soletta lungo una trave longitudinale

2.2.2 Fessurazione della soletta

In fase di calcolo delle sollecitazioni, si terrà conto degli effetti dovuti alla fessurazione della soletta nella zona posta in prossimità del testa pila, con riferimento ai criteri contenuti in EN 1994-2 5.4.2.3.(3)/ NTC 2008 4.3.2.2.1.

Dato che in tale zona la combinazione S.L.E. caratteristica restituisce valori di trazione media più alti del limite $2x_{ctm}$, si considererà "cracked" una zona posta a cavallo del testa pila, di ampiezza complessiva pari a circa 12 m (15 % (L1 + L2)).

In fase di verifica sezionale, la fessurazione della soletta sarà debitamente valutata con riferimento all'effettivo quadro tensionale derivante da ciascuna combinazione di verifica, escludendone il contributo in presenza di trazione.

2.2.3 Caratteristiche sezioni di impalcato

Le travi principali sono suddivise in conci. Essendo l'impalcato simmetrico longitudinalmente rispetto alla mezzeria della campata centrale, sono state analizzate le sezioni di inizio, centro e fine concio, per i soli conci di metà impalcato, dalla spalla 1 alla mezzeria della campata centrale. Nelle due tabelle seguenti si riportano in forma tabellare la posizione di ogni sezione, le dimensioni delle lamiere, l'armatura in soletta, la larghezza efficace della soletta ed il numero e tipo di pioli.

Dati comuni a tutti i conci:

Altezza trave:	2300 mm
Diametro pioli:	19 mm
Altezza pioli:	220 mm
Altezza soletta:	60+240=300 mm

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sections	X (m)	bsup (mm)	tsup (mm)	hw (mm)	tw (mm)	binf (mm)	tinf (mm)	n pioli (/m)
C1_1	0.000	900	25	2'235	18	900	40	20
C1_2	6.000	900	25	2'235	18	900	40	20
C1_3	12.000	900	25	2'235	18	900	40	20
C2_4	12.001	900	30	2'230	18	900	40	20
C2_5	18.000	900	30	2'230	18	900	40	20
C2_6	24.000	900	30	2'230	18	900	40	20
C3_7	24.001	900	60	2'180	20	900	60	20
C3_8	25.500	900	60	2'180	20	900	60	20
C3_cracked_9	25.501	900	60	2'180	20	900	60	20
C3_cracked_10	29.950	900	60	2'180	20	900	60	20
C3_cracked_12	30.000	900	60	2'180	20	900	60	20
C3_cracked_13	30.050	900	60	2'180	20	900	60	20
C3_cracked_14	36.000	900	60	2'180	20	900	60	20
C4_cracked_15	36.001	900	30	2'230	20	900	40	20
C4_cracked_16	37.500	900	30	2'230	20	900	40	20
C4_17	37.501	900	30	2'230	20	900	40	20
C4_18	41.000	900	30	2'230	20	900	40	20
C4_19	46.000	900	30	2'230	20	900	40	20
C5_20	46.001	900	35	2'210	18	900	55	15
C5_21	50.500	900	35	2'210	18	900	55	15
C5_22	55.000	900	35	2'210	18	900	55	15

Sections	X (m)	beff (mm)	Fisup (mm)	pbsup (mm)	csup (mm)	Fiinf (mm)	pbinf (mm)	cinf (mm)
C1_1	0.000	4'639	20	200	70	20	200	30
C1_2	6.000	5'428	20	200	70	20	200	30
C1_3	12.000	5'625	20	200	70	20	200	30
C2_4	12.001	5'625	24	200	72	24	200	32
C2_5	18.000	5'625	24	200	72	24	200	32
C2_6	24.000	5'530	24	200	72	24	200	32
C3_7	24.001	5'530	24	100	72	24	100	32
C3_8	25.500	5'435	24	100	72	24	100	32
C3_cracked_9	25.501	5'435	24	100	72	24	100	32
C3_cracked_10	29.950	5'153	24	100	72	24	100	32
C3_cracked_12	30.000	5'150	24	100	72	24	100	32
C3_cracked_13	30.050	5'152	24	100	72	24	100	32
C3_cracked_14	36.000	5'378	24	100	72	24	100	32
C4_cracked_15	36.001	5'378	24	200	72	24	200	32
C4_cracked_16	37.500	5'435	24	200	72	24	200	32
C4_17	37.501	5'435	24	200	72	24	200	32
C4_18	41.000	5'568	24	200	72	24	200	32
C4_19	46.000	5'625	24	200	72	24	200	32
C5_20	46.001	5'625	20	200	70	20	200	30
C5_21	50.500	5'625	20	200	70	20	200	30
C5_22	55.000	5'625	20	200	70	20	200	30

Per tutte le sezioni si riportano gli esiti delle verifiche in forma grafica e tabellare; per le sezioni per le quali si hanno le condizioni più sfavorevoli nei vari SL, si riportano anche dei report di verifica dettagliati.

2.2.3.1 Proprietà geometrico-statiche

Le proprietà geometrico statiche delle sezioni lorde di impalcato vengono valutate dal programma di verifica PontiEC4 e sono riportate in forma tabellare per ogni concio.

Tutti i dati indicati sono espressi in mm e sono riferiti alla trave metallica singola, con relativa porzione di soletta collaborante.

Per i dati relativi a ciascuna riga, si rimanda alla legenda ed alla figura riportate di seguito.

A	Area sezione
z_G	Distanza baricentro da intradosso
J_y	Inerzia verticale
J_z	Inerzia orizzontale
W_{y,0}	Modulo resistenza lembo inf. piatt. inferiore
W_{y,1}	Modulo resistenza lembo sup.. piatt. inferiore
W_{y,3}	Modulo resistenza lembo inf. piatt. superiore
W_{y,4}	Modulo resistenza lembo sup. piatt. superiore
W_{y,5}	Modulo resistenza lembo inferiore soletta in c.a.
W_{y,6}	Modulo resistenza layer inferiore armatura
W_{y,7}	Modulo resistenza layer superiore armatura
W_{y,8}	Modulo resistenza lembo superiore soletta in c.a.
S_{y,1}	Momento statico attacco anima/piatt. inferiore
S_{y,2}	Momento statico rispetto baricentro
S_{y,3}	Momento statico attacco anima/piatt. superiore
S_{y,4}	Momento statico interfaccia trave/soletta
e	Eccentricità tra baricentro globale e linea d'azione
N	

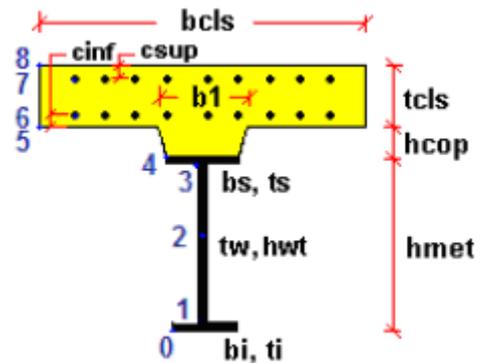


Figura 2.3: Dati caratterizzanti la sezione mista acciaio-calcestruzzo

Sezione C1_1

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x25 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	18x2235 mm, Inclinazione: 0
Soletta	4639x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 30 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidimenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	9.873E+4	1.791E+5	1.815E+5	1.668E+5	2.917E+5	1.133E+5
z _G (mm)	1000.253	1662.587	1673.662	1602.411	1978.09	1188.008
J _y (mm ⁴)	8.962E+10	1.865E+11	1.882E+11	1.777E+11	2.333E+11	1.168E+11
W _{y,0} (mm ³)	-8.96E+7	-1.122E+8	-1.124E+8	-1.109E+8	-1.179E+8	-9.828E+7
W _{y,1} (mm ³)	-9.333E+7	-1.15E+8	-1.152E+8	-1.137E+8	-1.204E+8	-1.017E+8
W _{y,3} (mm ³)	7.031E+7	3.046E+8	3.129E+8	2.642E+8	7.856E+8	1.074E+8
W _{y,4} (mm ³)	6.895E+7	2.927E+8	3.004E+8	2.547E+8	7.246E+8	1.05E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	2.675E+8	2.742E+8	2.345E+8	6.108E+8	9.962E+7
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	2.564E+8	2.627E+8	2.256E+8	5.663E+8	9.713E+7
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.151E+8	2.197E+8	1.915E+8	4.227E+8	8.7E+7
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	1.99E+8	2.031E+8	1.781E+8	3.751E+8	8.269E+7
S _{y,1} (mm ³)	3.529E+7	5.913E+7	5.953E+7	5.697E+7	7.049E+7	4.205E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.359E+7	8.283E+7	8.355E+7	7.894E+7	1.043E+8	5.391E+7
S _{y,3} (mm ³)	2.896E+7	7.945E+7	8.03E+7	7.487E+7	1.035E+8	4.328E+7
S _{y,4} (mm ³)	-3.725E-9	6.539E+7	6.649E+7	5.945E+7	9.654E+7	1.854E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Sezione C2_4

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x30 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	18x2230 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5625x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidimenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.031E+5	2.084E+5	2.113E+5	1.935E+5	3.449E+5	1.286E+5
z _G (mm)	1054.651	1771.979	1781.971	1717.484	2052.236	1332.765
J _y (mm ⁴)	9.645E+10	2.021E+11	2.035E+11	1.939E+11	2.441E+11	1.369E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9.146E+7	-1.14E+8	-1.142E+8	-1.129E+8	-1.189E+8	-1.027E+8
W _{y,1} (mm ³)	-9.506E+7	-1.167E+8	-1.168E+8	-1.156E+8	-1.213E+8	-1.059E+8
W _{y,3} (mm ³)	7.936E+7	4.057E+8	4.171E+8	3.51E+8	1.121E+9	1.461E+8
W _{y,4} (mm ³)	7.745E+7	3.827E+8	3.929E+8	3.33E+8	9.85E+8	1.415E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.436E+8	3.521E+8	3.019E+8	7.93E+8	1.333E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.259E+8	3.337E+8	2.875E+8	7.183E+8	1.292E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.673E+8	2.728E+8	2.393E+8	5.13E+8	1.145E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.44E+8	2.488E+8	2.198E+8	4.456E+8	1.08E+8
S _{y,1} (mm ³)	3.725E+7	6.307E+7	6.343E+7	6.111E+7	7.316E+7	4.726E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.651E+7	9.007E+7	9.074E+7	8.643E+7	1.096E+8	6.23E+7
S _{y,3} (mm ³)	3.322E+7	8.784E+7	8.86E+7	8.369E+7	1.092E+8	5.44E+7
S _{y,4} (mm ³)	-1.118E-8	7.399E+7	7.502E+7	6.836E+7	1.029E+8	2.868E+7

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

nE	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300
----	--------	--------	--------	--------	-------	--------

Sezione C3 7

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x60 mm
Piattabanda inferiore	900x60 mm
Anima	20x2180 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5530x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.516E+5	2.801E+5	2.83E+5	2.654E+5	4.143E+5	2.016E+5
z _G (mm)	1150	1756.462	1763.959	1716.555	1990.856	1475.064
J _y (mm ⁴)	1.528E+11	2.75E+11	2.765E+11	2.668E+11	3.231E+11	2.176E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1.328E+8	-1.565E+8	-1.567E+8	-1.554E+8	-1.623E+8	-1.475E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1.402E+8	-1.621E+8	-1.623E+8	-1.611E+8	-1.673E+8	-1.537E+8
W _{y,3} (mm ³)	1.402E+8	5.686E+8	5.808E+8	5.097E+8	1.297E+9	2.844E+8
W _{y,4} (mm ³)	1.328E+8	5.059E+8	5.158E+8	4.573E+8	1.045E+9	2.637E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	4.556E+8	4.639E+8	4.146E+8	8.753E+8	2.459E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	4.326E+8	4.402E+8	3.95E+8	8.054E+8	2.373E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	3.564E+8	3.619E+8	3.288E+8	6.015E+8	2.066E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	3.26E+8	3.307E+8	3.02E+8	5.304E+8	1.934E+8
S _{y,1} (mm ³)	6.048E+7	9.323E+7	9.363E+7	9.107E+7	1.059E+8	7.803E+7
S _{y,2} (mm ³)	7.236E+7	1.22E+8	1.227E+8	1.185E+8	1.432E+8	9.806E+7
S _{y,3} (mm ³)	6.048E+7	1.197E+8	1.204E+8	1.158E+8	1.425E+8	9.221E+7
S _{y,4} (mm ³)	0E+00	9.194E+7	9.308E+7	8.589E+7	1.275E+8	4.928E+7
nE	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Sezione C3 cracked 9

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x60 mm
Piattabanda inferiore	900x60 mm
Anima	20x2180 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5435x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.516E+5	2.778E+5	2.807E+5	2.635E+5	4.097E+5	2.008E+5
z _G (mm)	1150	1750.777	1758.263	1710.955	1985.512	1470.847
J _y (mm ⁴)	1.528E+11	2.738E+11	2.753E+11	2.657E+11	3.22E+11	2.167E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1.328E+8	-1.564E+8	-1.566E+8	-1.553E+8	-1.622E+8	-1.473E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1.402E+8	-1.619E+8	-1.621E+8	-1.609E+8	-1.672E+8	-1.536E+8
W _{y,3} (mm ³)	1.402E+8	5.597E+8	5.716E+8	5.022E+8	1.265E+9	2.818E+8
W _{y,4} (mm ³)	1.328E+8	4.985E+8	5.083E+8	4.51E+8	1.024E+9	2.614E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	4.494E+8	4.576E+8	4.093E+8	8.598E+8	2.437E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	4.27E+8	4.345E+8	3.901E+8	7.922E+8	2.353E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	3.523E+8	3.577E+8	3.252E+8	5.936E+8	2.05E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	3.224E+8	3.271E+8	2.988E+8	5.24E+8	1.919E+8
S _{y,1} (mm ³)	6.048E+7	9.292E+7	9.333E+7	9.077E+7	1.056E+8	7.781E+7
S _{y,2} (mm ³)	7.236E+7	1.215E+8	1.222E+8	1.18E+8	1.427E+8	9.771E+7
S _{y,3} (mm ³)	6.048E+7	1.191E+8	1.198E+8	1.152E+8	1.42E+8	9.179E+7
S _{y,4} (mm ³)	0E+00	9.108E+7	9.221E+7	8.504E+7	1.267E+8	4.864E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Sezione C4 cracked 15

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x30 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	20x2230 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5378x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.076E+5	2.082E+5	2.11E+5	1.94E+5	3.387E+5	1.319E+5
z _G (mm)	1058.81	1743.157	1753.114	1689.072	2027.083	1317.208
J _y (mm ⁴)	9.835E+10	2.031E+11	2.047E+11	1.948E+11	2.473E+11	1.374E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9.288E+7	-1.165E+8	-1.167E+8	-1.153E+8	-1.22E+8	-1.043E+8
W _{y,1} (mm ³)	-9.653E+7	-1.193E+8	-1.195E+8	-1.181E+8	-1.245E+8	-1.076E+8
W _{y,3} (mm ³)	8.12E+7	3.856E+8	3.96E+8	3.353E+8	1.018E+9	1.442E+8
W _{y,4} (mm ³)	7.924E+7	3.648E+8	3.742E+8	3.188E+8	9.062E+8	1.398E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.293E+8	3.372E+8	2.903E+8	7.429E+8	1.318E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.131E+8	3.204E+8	2.771E+8	6.777E+8	1.279E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.588E+8	2.641E+8	2.322E+8	4.937E+8	1.135E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.371E+8	2.417E+8	2.138E+8	4.317E+8	1.071E+8
S _{y,1} (mm ³)	3.74E+7	6.203E+7	6.239E+7	6.009E+7	7.225E+7	4.67E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.778E+7	9.104E+7	9.174E+7	8.728E+7	1.117E+8	6.301E+7
S _{y,3} (mm ³)	3.311E+7	8.827E+7	8.907E+7	8.391E+7	1.111E+8	5.393E+7
S _{y,4} (mm ³)	-1.118E-8	7.364E+7	7.471E+7	6.782E+7	1.042E+8	2.78E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sezione C4 17

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x30 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	20x2230 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5435x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.076E+5	2.093E+5	2.121E+5	1.949E+5	3.412E+5	1.322E+5
z _G (mm)	1058.81	1746.887	1756.846	1692.761	2030.319	1319.437
J _y (mm ⁴)	9.835E+10	2.037E+11	2.052E+11	1.953E+11	2.478E+11	1.378E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9.288E+7	-1.166E+8	-1.168E+8	-1.154E+8	-1.221E+8	-1.044E+8
W _{y,1} (mm ³)	-9.653E+7	-1.193E+8	-1.195E+8	-1.182E+8	-1.245E+8	-1.077E+8
W _{y,3} (mm ³)	8.12E+7	3.894E+8	4E+8	3.384E+8	1.034E+9	1.449E+8
W _{y,4} (mm ³)	7.924E+7	3.683E+8	3.779E+8	3.217E+8	9.189E+8	1.405E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.322E+8	3.403E+8	2.927E+8	7.517E+8	1.324E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.158E+8	3.231E+8	2.793E+8	6.852E+8	1.284E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.608E+8	2.661E+8	2.339E+8	4.979E+8	1.14E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.388E+8	2.434E+8	2.153E+8	4.35E+8	1.076E+8
S _{y,1} (mm ³)	3.74E+7	6.217E+7	6.253E+7	6.022E+7	7.237E+7	4.678E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.778E+7	9.13E+7	9.2E+7	8.754E+7	1.12E+8	6.315E+7
S _{y,3} (mm ³)	3.311E+7	8.857E+7	8.937E+7	8.42E+7	1.114E+8	5.411E+7
S _{y,4} (mm ³)	-1.118E-8	7.404E+7	7.511E+7	6.821E+7	1.045E+8	2.804E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Sezione C5 20

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x35 mm
Piattabanda inferiore	900x55 mm
Anima	18x2210 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5625x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 30 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.208E+5	2.182E+5	2.212E+5	2.033E+5	3.547E+5	1.385E+5
z _G (mm)	988.614	1652.927	1664.08	1592.358	1971.205	1176.417
J _y (mm ⁴)	1.158E+11	2.357E+11	2.377E+11	2.247E+11	2.938E+11	1.493E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1.172E+8	-1.426E+8	-1.428E+8	-1.411E+8	-1.49E+8	-1.269E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1.241E+8	-1.475E+8	-1.477E+8	-1.461E+8	-1.533E+8	-1.331E+8
W _{y,3} (mm ³)	9.075E+7	3.851E+8	3.956E+8	3.34E+8	10E+8	1.371E+8
W _{y,4} (mm ³)	8.833E+7	3.642E+8	3.738E+8	3.175E+8	8.935E+8	1.329E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.333E+8	3.416E+8	2.927E+8	7.556E+8	1.261E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.198E+8	3.275E+8	2.817E+8	7.015E+8	1.23E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.687E+8	2.745E+8	2.396E+8	5.257E+8	1.103E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.489E+8	2.54E+8	2.23E+8	4.672E+8	1.049E+8
S _{y,1} (mm ³)	4.758E+7	8.046E+7	8.101E+7	7.746E+7	9.621E+7	5.687E+7
S _{y,2} (mm ³)	5.542E+7	1.034E+8	1.043E+8	9.873E+7	1.293E+8	6.819E+7
S _{y,3} (mm ³)	4.076E+7	1.001E+8	1.011E+8	9.466E+7	1.285E+8	5.752E+7
S _{y,4} (mm ³)	-7.451E-9	8.024E+7	8.158E+7	7.292E+7	1.187E+8	2.268E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

2.2.3.2 Proprietà plastiche delle sezioni

Ai fini della classificazione e delle verifiche sezionali, vengono valutate le proprietà plastiche di base delle sezioni, con il tracciamento dei domini N/M rispettivamente per la sezione completa e per la sezione formata dalle sole flange in acciaio. Le proprietà vengono sistematicamente valutate per tutte le sezioni considerate nelle verifiche (cfr. mappa delle sezioni ai punti precedenti).

Per la valutazione di N_{pl} e M_{pl} si seguono i criteri contenuti in EN 1994-2, cap. 6.2.1.2. (4.3.2.1.2. delle NTC 2008).

Il calcolo di M_{pl} viene effettuato mediante semplici considerazioni di equilibrio delle forze plastiche sviluppate dai singoli elementi componenti la sezione, e della eventuale azione assiale concomitante, sotto opportune ipotesi, verificate a posteriori, riguardanti la posizione dell'asse neutro plastico.

In generale, quindi, indicato con:

- $N_{abf} = t_{inf} \times b_{inf} \times f_{yinf} / \gamma_{m0}$ azione assiale plastica sviluppabile dalla piattabanda inferiore;
- $N_{aweb} = t_{web} \times h_{web} \times f_{yweb} / \gamma_{m0}$ azione assiale plastica sviluppabile dalla anima;
- $N_{atf} = t_{sup} \times b_{sup} \times f_{ysup} / \gamma_{m0}$ azione assiale plastica sviluppabile dalla piattabanda superiore;
- $N_{c1} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c1} / \gamma_c$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c1}) compreso tra il layer superiore di armatura e l'estradosso della soletta (agente solo a compressione);
- $N_{c2} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c2} / \gamma_c$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c2}) compreso tra i due layers di armatura (agente solo a compressione);
- $N_{c3} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c3} / \gamma_c$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c3}) compreso tra la piattabanda superiore e il layer di armatura inferiore (agente solo a compressione);
- $N_{layer1} = A_{slinf} \times f_{yk} / \gamma_s$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer inferiore di armatura (di area complessiva A_{slinf});
- $N_{layer2} = A_{slsup} \times f_{yk} / \gamma_s$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer superiore di armatura (di area complessiva A_{slsup});

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

N_e	azione assiale esterna, agente in corrispondenza del baricentro geometrico della sezione;
$f_{yinf}, f_{ysup}, f_{yweb}$	resistenze caratteristiche di snervamento dell'acciaio componente rispettivamente la piattabanda inferiore, la piattabanda superiore e l'anima;

La posizione dell'asse neutro plastico, per un dato segno dell'azione flettente, è immediatamente e univocamente determinabile dall'esame di relazioni simili alla seguente, esplicitata per il caso di momento flettente negativo (soletta compressa), e asse neutro plastico disposto nell'anima:

$$Z_{pl} = t_{inf} + (-N_e + N_{layer1} + N_{layer2} + N_{atf} - N_{abr} + N_{aweb}) / (2 t_{web} f_{yweb} \gamma_{m0})$$

Si evidenzia inoltre che:

- l'azione assiale plastica sviluppata dal calcestruzzo in compressione viene valutata sulla base di uno stress block equivalente, di altezza pari a quella effettiva, ma di intensità ridotta all'85 % (cfr. EN 1994-2, cap. 6.2.1.2.(1), punto d),
- le armature in compressione vengono considerate, al fine di evitare possibili punti di discontinuità nella ricerca di a.n.p. per azione assiale variabile, rinunciando all'ipotesi semplificativa contemplata da EN 1994-2, cap. 6.2.1.2.(1), punto c
- per i medesimi motivi indicati al punto precedente, i layer di armatura vengono modellati con "strisce" di spessore equivalente.

Il tracciamento dei domini viene effettuato per punti, valutando di volta in volta la posizione dell'asse neutro plastico e il valore di M_{pl} sotto l'azione dell'azione assiale N incrementata da 0 (flessione semplice, positiva o negativa) fino a $\pm N_{pl}$ con incrementi pari a $N_{pl}/10$.

2.2.4 Caratteristiche del sistema di irrigidimento (ribs e stiffeners)

Le travi metalliche sono irrigidite da un sistema di nervature formato da stiffeners verticali, progettati con riferimenti ai criteri contenuti in EN 1993-1-5.

Irrigidimenti intermedi

Gli stiffeners intermedi, che assolvono al solo compito di irrigidimento d'anima, sono posti ad interasse longitudinale compreso tra 4 e 4.25 m.

Il profilo di base di tali irrigidimenti, che ospitano anche il collegamento con i traversi trasversali, è un profilo composto a "T", di dimensioni correnti:

anima:	200 x 20 mm
ala:	240 x 16 mm

Il profilo viene collegato, oltre che lungo l'anima della trave, anche in corrispondenza delle estremità alle piattabande superiori ed inferiori.

Al fine di non penalizzare eccessivamente la resistenza a fatica della piattabanda inferiore, l'ala dell'irrigidente viene rastremata nella parte inferiore, portando la larghezza a 50 mm.

In figura si riporta lo schema dell'irrigidente.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

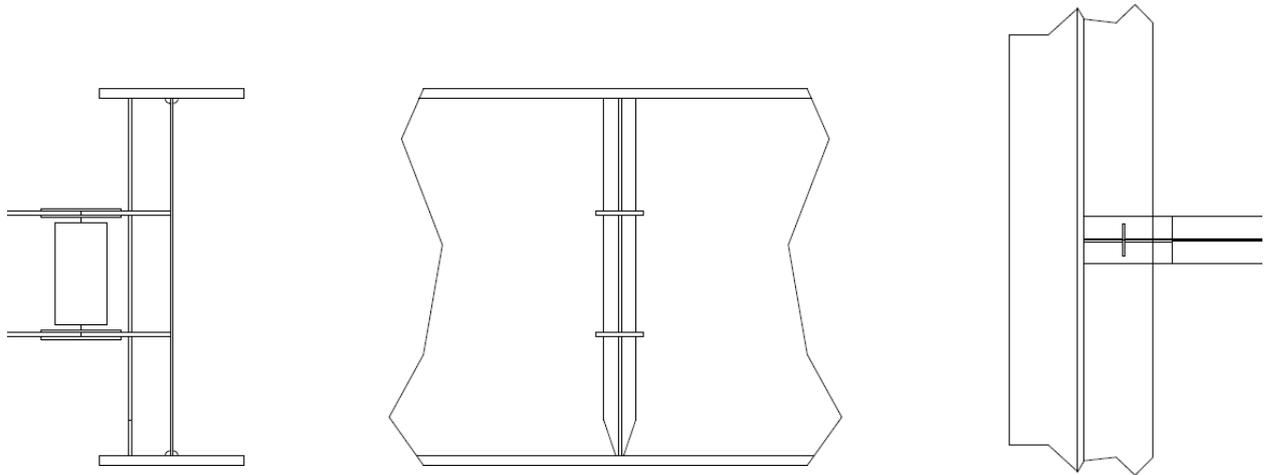


Figura 2.4 Schema irrigidenti di campata

Irrigidimenti d'appoggio

In linea generale, gli irrigidenti d'appoggio assolvono la funzione "aggiuntiva" di stabilizzazione dell'anima nei confronti delle azioni localizzate trasmesse dalle apparecchiature di vincolo.

Il sistema di base degli irrigidenti d'appoggio è basato su di un piatto semplice, di spessore 35 mm e larghezza minima 400 mm, disposto simmetricamente rispetto all'anima.

Sul lato interno del manufatto è predisposta un'espansione laterale, atta ad ospitare il sistema di irrigidimento destinato al supporto temporaneo durante le fasi di calaggio e sollevamento del manufatto, oltre che i piatti che collegano i traversi intermedi.

Qui di seguito si riporta lo schema degli irrigidenti intermedi di pila.

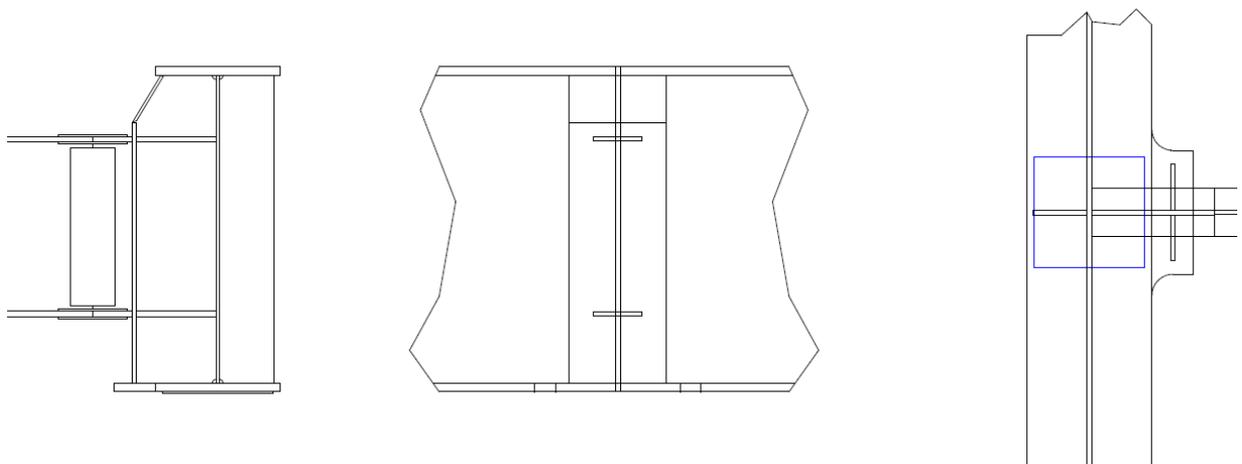


Figura 2.5 Schema irrigidenti di pila

Gli irrigidenti terminali posti in prossimità degli appoggi di spalla, verranno progettati come "rigid end post", ovvero rispondenti al criterio di EN 1993-1-5 5.2(2). Al sistema di base, formato anche in questo caso da un piatto semplice di dimensioni minime 450 x 35, disposto simmetricamente rispetto all'anima,

si aggiunge un'ulteriore nervatura verticale, formata da un piatto 270 x 20, simmetrico rispetto all'anima, posto in corrispondenza della sezione di coda trave.

Qui di seguito si riporta lo schema dell'irrigidente posizionato sul traverso di spalla.

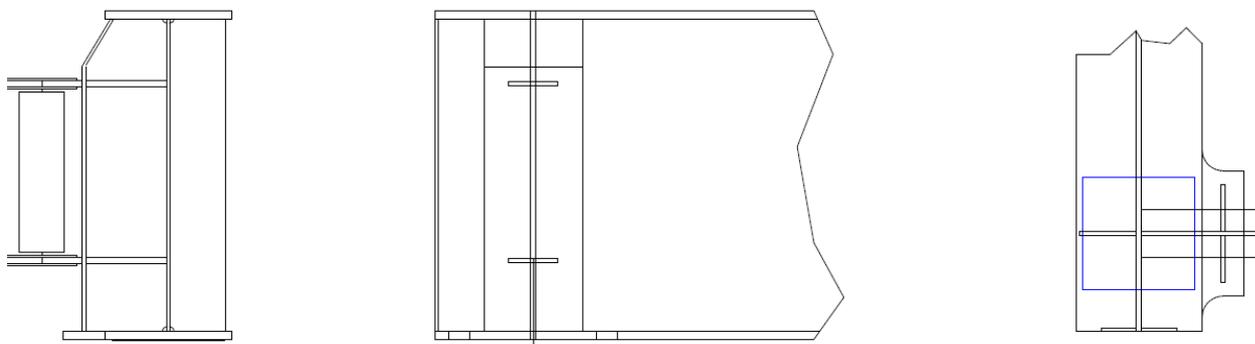


Figura 2.6 Schema irrigidenti di spalla

La verifica dei requisiti "end post" viene effettuata con riferimenti a EN 1993-1-5, 9.3.1.(2), e consiste nel confronto dell'area dei piatti verticali con il limite:

$$A_{\min} = 4 h_w t_w^2 / e$$

e = braccio tra i due piatti verticali

Si ottiene:

$$A_{\min} = 4 \times 2300 \times 202/700 = 5257 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{pres}} = 2 \times 270 \times 25 = 13500 \text{ mm}^2$$

area di irrigidente effettivamente presente > A_{\min}

3. DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO

Per l'analisi della sovrastruttura e delle sottostrutture (queste ultime riportate in elaborato separato), verrà impiegato un modello ad elementi finiti comune, ma dovutamente specializzato e finalizzato agli obiettivi delle singole analisi.

Qui di seguito si riportano le generalità del modello impiegato per la verifica della sovrastruttura.

3.1 MODELLAZIONE E TIPO DI ANALISI

La struttura è stata modellata in tridimensionale, con elementi di LUSAS trave tipo BMI21 a sei gradi di libertà per nodo, che corrono lungo lo sviluppo longitudinale delle travate. I traversi sono modellati con travi tipo BMI21 e posizionati nella posizione reale, e la soletta è modellata come elementi shell tipo QTS4. Le sollecitazioni N, T, M di verifica dell'impalcato sono ricavate dal software in una serie di posizioni in cui sono definite delle "slice" cioè delle sezioni nelle quali il modello viene tagliato e il software restituisce l'integrale delle sollecitazioni sulla sezione composta da elementi shell ed elemento beam.

E' stata modellata anche la pila ed il plinto di fondazione, mediante elementi trave tipo BMI21.

L'analisi della struttura composta è stata condotta sovrapponendo i risultati di singole analisi statiche lineari, ciascuna condotta con riferimento ad appropriate proprietà geometrico-statiche (o di materiale), proprie di ciascuna "fase" analizzata.

Allo scopo, sono stati elaborati più modelli agli elementi finiti per tener conto delle reali fasi costruttive. In particolare i modelli elaborati sono descritti nel seguito.

- **FASE 1 - Realizzazione delle sottostrutture in acciaio e getto soletta in c.a.**

Il modello di calcolo è un graticcio formato dalle travi principali e dai traversi.

Le azioni applicate sono il peso proprio di tutte le membrature metalliche, il peso proprio della soletta, non reagente, gli spostamenti impressi (coazioni) in asse appoggi spalle. Ai fini della modellazione si considera che il getto del calcestruzzo avviene in un'unica fase.

- **FASE 2a - Maturazione della soletta, applicazione dei sovraccarichi permanenti**

Si considera la struttura completa formata dall'acciaio e dal calcestruzzo.

Il modello di calcolo della soletta è formato da elementi shell con rigidità del cls valutata a tempo "infinito", nervato con le opportune eccentricità da un graticcio formato dalle travi longitudinali aventi sezione di acciaio, e traversi schematizzati con la loro geometria reale.

La soletta è considerata fessurata a ridosso di ogni pila per una lunghezza pari al 15% delle rispettive luci, e quindi si utilizza un modulo elastico equivalente alla rigidità delle sole armature longitudinali.

Le azioni applicate sono i carichi permanenti.

- **FASE 2b – Valutazione degli effetti del ritiro**

Si considera la struttura completa formata dall'acciaio e dal calcestruzzo.

Il modello di calcolo della soletta è formato da elementi shell con rigidità del cls valutata a tempo "infinito", nervato con le opportune eccentricità da un graticcio formato dalle travi longitudinali aventi sezione di acciaio, e traversi schematizzati con la loro geometria reale.

La soletta è considerata fessurata a ridosso di ogni pila per una lunghezza pari al 15% delle rispettive luci, e quindi si utilizza un modulo elastico equivalente alla rigidità delle sole armature longitudinali.

Le azioni applicate sono il ritiro ed i cedimenti vincolari.

- **FASE 2c – Coazioni imposte**

Per il caso in esame non è prevista l'applicazione di coazioni imposte, pertanto la fase normalmente denominata "2c" non verrà considerata.

- **FASE 3 - Applicazione dei carichi istantanei (mobili ed accidentali in genere)**

Si considera la struttura completa formata dall'acciaio e dal calcestruzzo con rigidità valutata "a tempo zero". La soletta è considerata fessurata a ridosso di ogni pila per una lunghezza pari al 15% delle rispettive luci, e quindi si utilizza un modulo elastico equivalente alla rigidità delle sole armature longitudinali.

Le azioni applicate sono i carichi da traffico, le variazioni termiche, il vento.

Si riporta una rappresentazione grafica della mesh, con rendering della struttura.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 492.445
Zoom: 108.738
Eye: (-0.696855, -0.620963, 0.358885)
Analysis: Fase1
Loadcase: 2:PPacc

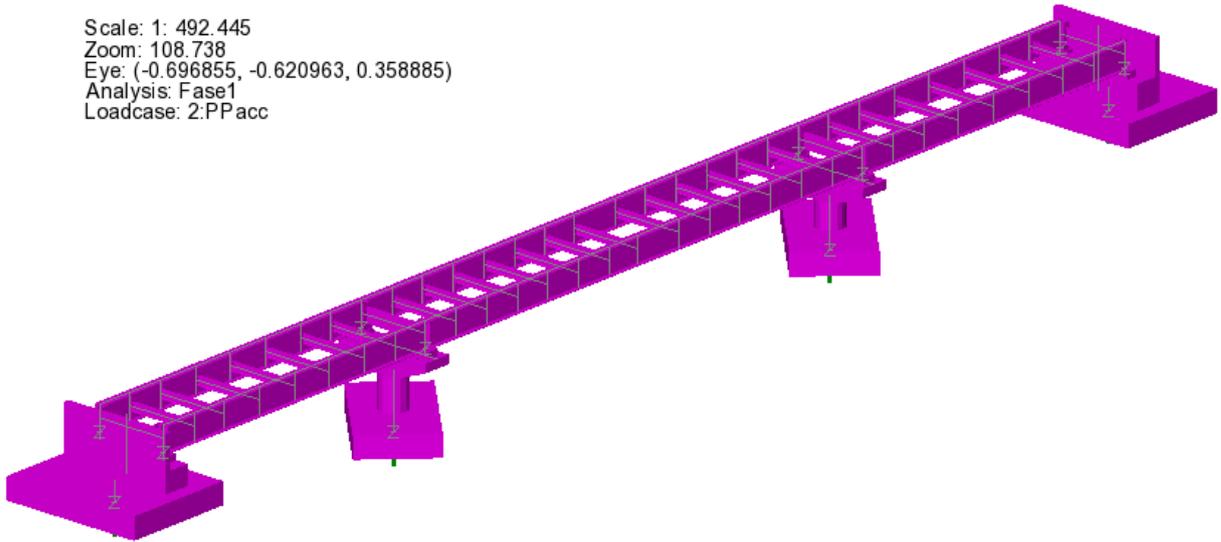


Figura 3.1: Modello fem in FASE 1

Scale: 1: 492.445
Zoom: 108.738
Eye: (-0.696855, -0.620963, 0.358885)
Analysis: Fase3
Loadcase: 1:Vento

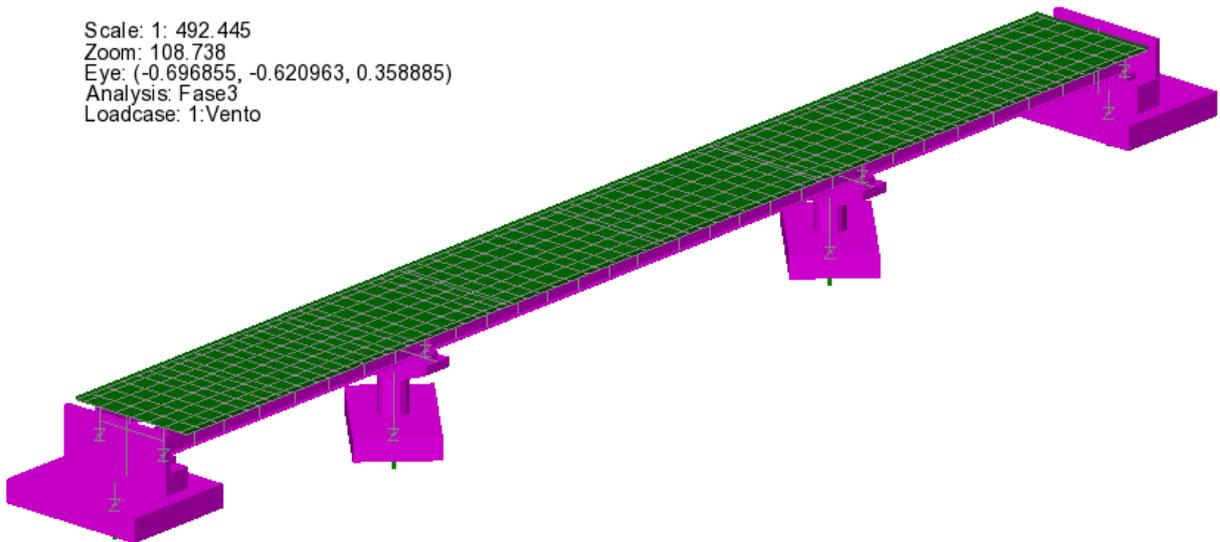


Figura 3.2: Modello FEM in fase 3

3.2 SISTEMA DI VINCOLO

I vincoli esterni sono degli "incastri" posti all'intradosso del plinto di fondazione delle pile centrali e delle spalle.

I dispositivi di vincolo effettivi del solo impalcato, rappresentati dagli isolatori elastomerici, sono modellati con molle di rigidità orizzontale $k_y=k_x=1480$ kN/m, e verticale $k_z=1286000$ kN/m in corrispondenza delle spalle, molle con rigidità orizzontale $k_y=k_x=2230$ kN/m, e verticale $k_z=2186000$ kN/m in corrispondenza delle pile.

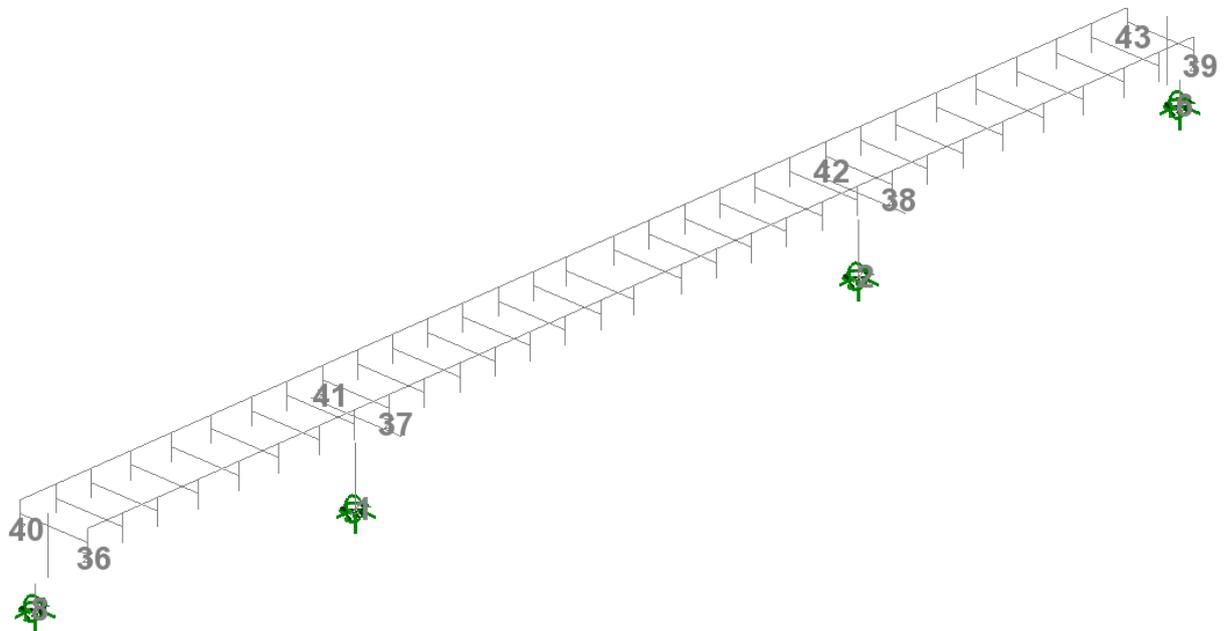


Figura 3.3: Vincoli esterni e numerazione degli elementi di molla concentrata presenti nel modello

I dispositivi di vincolo verranno inghisati in maniera definitiva solamente dopo il getto della soletta e la posa dei sovraccarichi permanenti. Questo accorgimento consente di “depurare” le deformazioni parassite sui dispositivi, che intercorrono soprattutto durante la fase di getto della soletta.

Le analisi di fase 1 e fase 2a saranno pertanto condotte riferendosi a rigidzze orizzontali del sistema di isolamento praticamente nulle.

4. ANALISI DEI CARICHI

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

Le sollecitazioni per le verifiche sezionali sono state dedotte dall'analisi globale.

4.1 CARICHI AGENTI IN FASE 1

4.1.1 Peso proprio acciaio (G_{k1})

Il peso della struttura in acciaio è stato conteggiato con riferimento alla densità di massa convenzionale di 7850 kg/m^3 calcolato in automatico dal modello attraverso l'applicazione dell'accelerazione di gravità agli elementi rappresentativi delle travi longitudinali e dei traversi.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Si è inoltre considerato un sovraccarico aggiuntivo pari a 1100kN/m su ciascuna trave, per tenere in conto dei rimanenti contributi di "vestizione" della carpenteria metallica non modellati esplicitamente, quali:

- Piolature
- Piastrame di giunto
- Irrigidenti
- Controventi di montaggio

4.1.2 Peso proprio soletta (G_{k1})

Il peso della soletta di impalcato e' pari a:

- soletta inclusa predalle $0.3 \text{ m} * 25 \text{ KN/m}^3 = 7.5 \text{ KN/m}^2$

Il contributo equivalente al peso della soletta + predalles è stato implementato nel modello tramite un sovraccarico uniformemente distribuito agente sugli allineamenti di travi longitudinali.

4.1.3 Spostamento impresso agli appoggi delle spalle per simulazione contromonta

Il basso rapporto fra le luci di riva e quella della campata centrale, pari a 30/50=0.6, indurrebbe, senza una adeguata contromonta, nella combinazione SLU fondamentale e nella combinazione sismica allo SLV, delle sollecitazioni di trazione sugli isolatori posizionati sulle spalle; per ovviare a questa eventualità si prevede di realizzare la travata in acciaio con una contromonta pari a 30 cm in corrispondenza delle due pile, tale da precaricare gli appoggi sulle spalle ed evitare l'insorgere dei predetti sforzi di trazione negli stessi.

La presenza di questa contromonta induce anche delle sollecitazioni nelle travi longitudinali in fase 1.

Tale contromonta equivale a imporre nel modello uno spostamento verticale verso l'alto pari a 30 cm, in corrispondenza degli appoggi posti sopra le spalle.

In dettaglio si hanno i seguenti valori in kN della reazione vincolare di un appoggio in corrispondenza delle spalle, con e senza coazioni.

Reazioni appoggi su spalla (compressione -)							
			SLU				SISMA
pp acciaio	-103	1	-103	pp acciaio	-103	1	-103
pp soletta	-366	1	-366	pp soletta	-366	1	-366
permanenti	-178	1	-178	permanenti	-178	1	-178
traffico Fz max	272	1.35	367	termica	133	0.5	67
termica	133	0.72	96	Sisma Z	495	1	495
vento	108	0.9	97	Sisma Y	315	0.3	95
ritiro	112	1.2	134	Tot. SLV senza coazioni			9
cedim appoggi	28	1.2	34				
Tot. SLU senza coazioni			81	Coazione S1 (30 cm)	-335	1	-335
				Coazione S2 (30 cm)	107	1.2	128
Coazione S1 (30 cm)	-335	1	-335	Tot. SLV + coazioni			-198
Coazione S2 (30 cm)	107	1.2	128				
Tot. SLU + coazioni			-125				

4.2 CARICHI AGENTI IN FASE 2A - 2B

4.2.1 Cordoli e sovraccarichi permanenti (G_{k2}')

Cordoli	γ_{cls}	25 kN/m ³	
	spessore	0.16 m	
	$g_{k2, cordoli}$	4.00 kN/m ²	cordolo sx=cordolo dx, L=0.75 m
Pavimentazione	γ_{pav}	24 kN/m ³	larghezza carreggiata 9.5 m
	spessore	0.11 m	
	$g_{k2, pavim}$	2.640 kN/m ²	
Barriera	$g_{k2, barriera}$	2.00 kN/m	per lato barriera sx = barriera dx
Veletta prefabbricata	$g_{k2, veletta}$	1.75 kN/m	

Tabella 4.1 Sovraccarichi permanenti

Il carico denominato barriera si intende comprensivo anche del peso dei collettori di raccolta idraulica e di eventuali altri impianti.

I sovraccarichi permanenti vengono implementati nel modello come carichi uniformemente distribuiti, agenti sugli elementi della soletta in c.a.

4.2.2 Ritiro ($G_{sh,k}$)

Nei punti precedenti sono stati valutati i parametri di base inerenti alla reologia del calcestruzzo (ritiro/viscosità). Gli effetti del creep vengono valutati con l'ausilio di coefficienti di omogeneizzazione opportunamente modificati e della deformazione di ritiro come esposto nel paragrafo relativo ai materiali.

Per quanto riguarda il ritiro della soletta, si valuta, in linea generale, l'effetto coattivo indotto dalla contrazione della soletta, primariamente rispetto alla trave composta acciaio calcestruzzo (effetti primari del ritiro), secondariamente rispetto alla statica globale della struttura continua (effetti secondari, o iperstatici).

Gli effetti primari vengono valutati con la formula:

$$N_r = \varepsilon_{sh} * E_s / n_{f2b} * b_{eff} * t_{cls}$$

$$M_r = N_r * e$$

In particolare, con "e" si è indicata l'eccentricità fra il baricentro della soletta ed il baricentro della sezione composta omogeneizzata in fase 2b. In sede di verifica tensionale, nella soletta, alle tensioni indotte da N_r ed M_r si aggiunge lo stato di coazione locale di trazione $\sigma_{sh} = \varepsilon_{sh} * E_s / n_{f2b}$

Gli effetti del ritiro primario nelle verifiche sono calcolati automaticamente dal postprocessore "Ponti EC4" sezione per sezione, e vengono ignorati nelle zone fessurate in accordo a EN1994-2, 5.4.2.2 (8); gli effetti secondari (iperstatici) vengono presi in conto dalla modellazione globale effettuata con LUSAS, applicando, in uno specifico loadcase, una contrazione specifica agli elementi di soletta attraverso l'implementazione di una variazione termica uniforme pari a $\Delta T_{uni} = \varepsilon_{r\infty} = - 27.17 \text{ } ^\circ\text{C}$.

4.2.3 Cedimenti vincolari ($G_{k,sett}$)

Il calcolo dei cedimenti vincolari è convenzionalmente fatto considerando un possibile spostamento verticale pari al 0.2‰ della lunghezza media in base alle luci adiacenti l'appoggio. Il calcolo è riportato nella tabella seguente:

	Campata di sinistra (m)	Campata di destra (m)	dv (m)	
DZ_Sp1	---	30.0	0.0060	m
DZ_Pila1	30.0	50.0	0.0080	m
DZ_Pila2	50.0	30.0	0.0080	m
DZ_Sp2	30.0	---	0.0060	m

Tabella 4.2 Cedimenti nominali ai sostegni

Gli effetti dei cedimenti di ciascun sostegno verranno opportunamente combinati in modo da restituire, nell'ambito dei vari inviluppi, la situazione più sfavorevole.

4.3 CARICHI AGENTI IN FASE 3

4.3.1 Variazioni termiche (QT_k)

I criteri per la determinazione degli effetti della temperatura sono contenuti in NTC-08, cap. 3.5 (rif. Eurocodici EN 1991-1-5). Dal momento che NTC-08 non riporta prescrizioni specifiche per il calcolo degli effetti della temperatura (in particolare i gradienti termici) per i ponti si farà riferimento ai criteri contenuti negli Eurocodici.

4.3.1.1 Variazioni termiche uniformi e lineari Δt_n e Δt_m

L'effetto delle variazioni termiche viene valutato con riferimento ai criteri contenuti in EN 1991-1-5, corredato dall'annesso nazionale.

Si fa riferimento ad un manufatto da ponte di gruppo 2, sito in Sicilia.

La temperatura media ambientale viene posta pari a T_0 a 15.0 °C.

Gli effetti delle variazioni termiche vengono modellati attraverso l'applicazione di una variazione termica uniforme Δt_n ed una variazione termica lineare (gradiente), Δt_m .

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tipo ponte	2	1: acciaio 2: composto 3: calcestruzzo			
Componente uniforme		Componente differenziale			
T min	-3.0 [°C]		$\Delta T_{M,heat}$	15.0 [°C]	
T max	44.0 [°C]		$\Delta T_{M,cool}$	-18.0 [°C]	
Te,min	1.0 [°C]		Spessore rivestimento	3	2: impermeabilizz 3: 50 mm / 4: 100 mm / 5: 150 mm
Te,max	48.3 [°C]				
ΔT_N	47.3 [°C]				
			$k_{sur,heat}$	1.0 [-]	
T_0	15.0 [°C]		$k_{sur,cool}$	1.0 [-]	
$\Delta T_{N,con}$	-14.0 [°C]		$\Delta T_{M,heat}$	15.0 [°C]	
$\Delta T_{N,exp}$	33.3 [°C]		$\Delta T_{M,cool}$	-18.0 [°C]	
			Z(m)	$\Delta T_{M,heat}$	$\Delta T_{M,cool}$
		Estradosso soletta	2.60	15.00	-18.00
		Intradosso soletta	2.30	13.27	-15.92
		Intradosso travate	0.00	0.00	0.00

Tabella 4.3 Calcolo var. termiche uniformi e lineari (EN 1991-1-5)

4.3.1.2 Combinazione degli effetti uniformi e lineari

La combinazione degli effetti dovuti alla variazione termica uniforme e lineare verrà effettuata sfruttando la formula di combinazione proposta dalla normativa, che prevede due combinazioni principali in cui Δt_M e Δt_N sono amplificati mediante differenti coefficienti di combinazione:

$$C1: \Delta t_M + 0.35 \Delta t_N$$

$$C2: 0.75 \Delta t_M + \Delta t_N$$

4.3.2 Carichi mobili (Q_k)

4.3.2.1 Verifiche globali

Per le verifiche globali dell'impalcato si utilizza il modello globale FEM precedentemente descritto.

Si seguono le disposizioni contenute nel D.M. 2008, cap. 5.1.3.3.5, equivalenti a quelle contenute in EN 1991-2. Si fa riferimento a ponti di I categoria.

Nel caso in esame, la carreggiata, di larghezza utile pari a 9.75 m, è in grado di ospitare 3 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.0 m. La parte rimanente ("remaining area") risulta pari a 0.50 m.

Corsia di carico n.1 costituita da:

- ✓ Schema di carico n.1: n. 4 carichi concentrati da 150 kN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al viadotto e 1.2 m in direzione trasversale
- ✓ Carico uniformemente ripartito di intensità 9.0 kN/m² su una larghezza di 3.00m

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Corsia di carico n. 2 costituita da:

- ✓ - Schema di carico n.1 ridotto: n. 4 carichi concentrati da 100 kN cadauno disposti ad interasse 2.00m in direzione longitudinale al viadotto e 1.2 m in direzione trasversale
- ✓ - Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m² su una larghezza di 3.00m

Corsia di carico n. 3 costituita da:

- ✓ - Schema di carico n.1 ridotto: n. 4 carichi concentrati da 50 kN cadauno disposti ad interasse 2.00m in direzione longitudinale al viadotto e 1.2 m in direzione trasversale
- ✓ - Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m² su una larghezza di 3.00m

Corsia di carico n. 4 (Remaining area RA) costituita da :

- ✓ - Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m² sulla larghezza residua di impalcato.

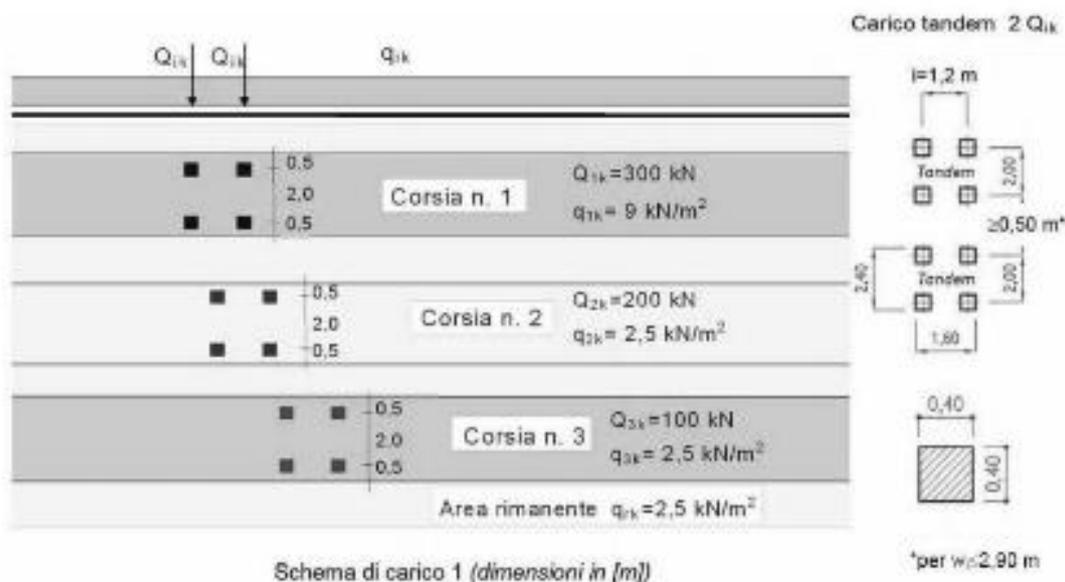


Figura 4.1: Schema di carico convenzionale 1

Le azioni da traffico sono state applicate ricorrendo alla funzione Vehicle Load Optimization (VLO), integrata nel codice di calcolo utilizzato, la quale dopo aver definito le sezioni nelle quali calcolare le linee/superfici di influenza e una caratteristica di sollecitazione, posiziona i carichi da traffico della normativa in modo tale da minimizzare/massimizzare la sollecitazione scelta fornendo anche i valori delle sollecitazioni concomitanti.

4.3.2.2 Verifiche locali

Per le verifiche locali della soletta d'impalcato si ricorre allo schema di carico 1 ed allo schema di carico 2, composto da un veicolo ad un solo asse, avente un peso complessivo pari a 400 kN.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

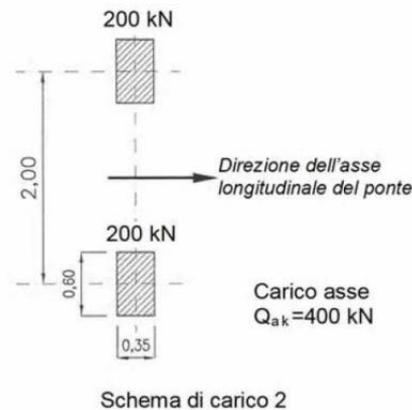


Figura 4.2: Schema di carico convenzionale 2

Dettagli riguardo alle posizioni più significative di tale carico vengono forniti nel paragrafo relativo alle verifiche locali della soletta.

Tale modello veicolare verrà impiegato anche in concomitanza al modello di urto.

4.3.2.3 Verifiche a fatica

Le verifiche a fatica vengono effettuate con riferimento al metodo dei coefficienti λ . Pertanto si considera il transito sulla corsia lenta del veicolo FLM3, formato da 4 assi da 120.0 kN ciascuno, ed avente la configurazione planimetrica indicata in figura.

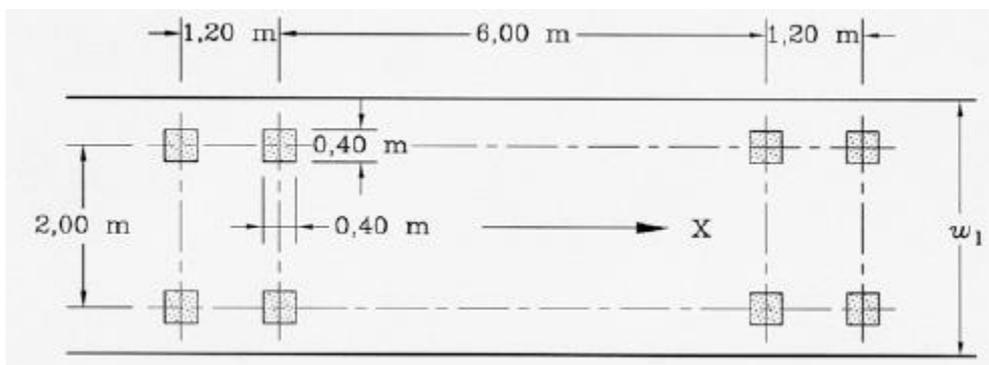


Figura 4.3: Carico convenzionale per verifiche a fatica

La struttura in esame è a carreggiata unica con unico senso di marcia e pertanto si considera la presenza di una corsia lenta, posizionata nella sua collocazione reale di progetto.

4.3.3 Azioni di frenatura (Q_{fk})

La forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq Q_{fk} = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

Essendo in questo caso:

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Lunghezza del ponte = L	110	m	
$2 \cdot Q_{1k}$	600	kN	
q_{1k}	9.0	kN/m ²	
w	3.0	m	
Q_{Lk}	657	kN	<900 kN
Q_{Lk}	657.0	kN	
$q_{Lk \text{ tot}}$	5.973	kN/m	carico totale per unità di lunghezza
n travi	2		
$q_{Lk \text{ trave}}$	2.986	kN/m	carico per singola trave, per unità di lunghezza

4.3.4 Azione del vento ($F_{w,k}$)

Le azioni del vento vengono valutati con riferimento ai criteri contenuti in EN 1991-1-4, corredata dal relativo annesso nazionale.

Si evidenzia che per semplicità, ed a favore di sicurezza, si è considerata la medesima pressione del vento sia nel caso di manufatto carico che scarico.

Ai fini della valutazione delle pressioni, si è considerata la singola via di corsa.

Qui di seguito di riporta la tabella contenente i parametri di sito ed il calcolo della pressione del vento.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

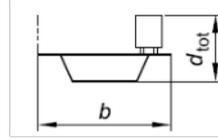
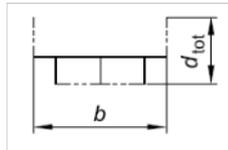
Calcolo parametri di base

Categoria sito	II II-III-IV-V (categorie secondo NAD EN 1991-1-4)
Zona	4 UNI EN 1991-1-4
a_s	35 m - quota sito
v_{b0}	28 4.1.(1) P
a_0	500 m (cfr. tab. N.A. 1 parametri nazionali)
k_a	0.02 1/s (cfr. tab. N.A. 1 parametri nazionali)
v_{b0}	28 4.1.(1) P
v_b	28.0 velocità di base del vento
C_{dir}	1.00 4.2.(2) P - nota 2
C_{season}	1.00 4.2.(2) P - nota 3
C_r	1.01 Coeff. Rugosità terreno (EN 1991-1-4 §4.3.2)
C_{scd}	1.00 fattore di struttura
k_t	1.00 fattore di turbolenza (valore raccomandato da N.A.D.)
C_o	1.00 coeff. orografia EN 1991-1-4 §4.3.1 e Annex A3
T_r	50 periodo di ritorno
k_1	0.138
n	1.000
α_r	1.00
z_0	0.05 EN 1991-1-4 §4.3.2
z_{0II}	0.05 EN 1991-1-4 §4.3.2 prosp. 4.1
z_{min}	4.00 EN 1991-1-4 §4.3.2
z_{max}	200 EN 1991-1-4 §4.3.2
k_r	0.19 fattore di terreno EN 1991-1-4 §4.3.2 (4.5)
$v_m(z)$	28.2 EN 1991-1-4 cap. 4.3.1 (4.3)
σ_v	5.32 scarto comp. turbolenta vel. vento EN 1991-1-4 §4.4 (4.6)
ρ	1.25 densità aria (4.5 nota 2 e N.A.D.)
$I_v(z)$	0.19 EN 1991-1-4 cap. 4.4 (4.7)
$C_e(z)$	2.35 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9) => per deduzione
$q_p(z)$	1152.62 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9)
v_b^*	25.20 EN 1991-1-4 §8.1 (4) + NAD
$v_m^*(z)$	25.37 EN 1991-1-4 cap. 4.3.1 (4.3)
$I_v^*(z)$	0.21 EN 1991-1-4 cap. 4.4 (4.7)
$c_e^*(z)$	2.50 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9) => per deduzione
$q_p^*(z)$	992.67 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Caratteristiche impalcato

b_{imp}	11.25 m (cfr. figura)
Z	10 m quota baricentro struttura da p.c.
d_{sagoma}	3 (m) EN 1991-1-4 §8.1. (5) + NAD
$d_{scarico}$	2.6 (m) d_{tr} A ponte scarico (cfr. figura)
d_{carico}	5.6 (m) d_{tr} a ponte carico (cfr. figura)
ψ_0	0.6 coefficiente di combinazione (EN 1990)
$C_{fx, scarico}$	1.30 EN 1991-1-4 - cap. 8.3.1 fig. 8.3
$C_{fx, carico}$	1.85
$b/d_{scarico}$	4.33
b/d_{carico}	2.01
$f_{w, scarico}$	1498 (N/m ²)
$f_{w, carico}$	2130 (N/m ²)
f_w^*	1290 (N/m ²) pressione specifica nominale (EN 1991-1-4 cap. 8.1 (4))
$F_{w, scarico}$	3896 (N/m) Risultante a ponte scarico, caratteristico
$F_{w, carico}$	11925 (N/m) Ris. a ponte carico, caratteristico



Gli effetti del vento sul manufatto si traducono, in linea generale, in un'azione orizzontale ed una coppia torcente distribuite. Quest'ultimo contributo viene valutato, per semplicità, approssimando in corrispondenza del baricentro soletta la quota del centro di taglio dell'assieme, la coppia viene applicata con due forze verticali uguali in modulo ed opposte in verso sulle due travi longitudinali.

$$C_{fz} = 0.9 \text{ EN 1991-1-4 §8.3.3 (1)}$$

Il vento verticale è pari a

$$f_{w, vert} = 0.5 * \rho * v_b^2 * c_e(z) * z_0 = 1036 \text{ N/m}^2$$

Il valore è molto inferiore a quello dei carichi permanenti di oltre 10000 N/m² e viene quindi trascurato nei calcoli come anche da indicazione di EN 1991-1-4 - §8.3.3 (1)

4.3.5 Azione sismica (E)

L'opera in oggetto è progettata per una vita nominale VN pari a 50 anni e considerando una classe d'uso IV ("Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico") ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $C_u = 2$.

L'azione sismica di progetto è definita per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Il periodo di ritorno di quest'ultima, in funzione della vita utile, della classe d'uso, del tipo di costruzione e dello stato limite di riferimento (prima definiti), è di 949 anni.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Essa, conformemente a quanto prescritto dalle Norme Tecniche, è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste.

Tale pericolosità sismica è descritta, in termini geografici e temporali attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

a_g , accelerazione orizzontale massima del terreno

F_0 , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto										
Latitudine:	37°.2694									
Longitudine:	14°.945									
Stato limite	V_N (anni)	C_u	V_R (anni)	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*c	$a_g(m/s^2)$	F_v	
SLO	50	2	100	60	0.076	2.496	0.275	0.746	0.929	
SLD	50	2	100	101	0.109	2.332	0.307	1.069	1.039	
SLV	50	2	100	949	0.383	2.335	0.472	3.757	1.951	
SLC	50	2	100	1950	0.541	2.337	0.531	5.307	2.321	

Tabella 4.4: Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

In quest'ultima V_N è la vita nominale dell'opera; C_U è il coefficiente relativo alla classe d'uso; V_R è il periodo di riferimento per l'azione sismica, $V_R=C_U*V_N$; T_R è il periodo di ritorno associato alla probabilità di non superamento dello stato limite della salvaguardia della vita; a_g è la massima accelerazione riferita a quella di gravità attesa sul sito su suolo di riferimento; F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; F_v è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale; T_c^* è il periodo, espresso in secondi, corrispondente alla fine del tratto orizzontale dello spettro su suolo di riferimento.

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Stato limite	Suolo	Categ. Top.	S _S	S _T	S	C _C	T _B	T _C	T _D
SLO	C	T1	1.50	1.00	1.50	1.608	0.147	0.442	1.904
SLD	C	T1	1.50	1.00	1.50	1.550	0.159	0.476	2.036
SLV	C	T1	1.16	1.00	1.16	1.345	0.212	0.635	3.132
SLC	C	T1	1.00	1.00	1.00	1.294	0.229	0.687	3.764

Tabella 4.5: Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale

In quest'ultima la tipologia di suolo presente in corrispondenza dell'opera, tipologia "C", determina i valori di S_S ed S_T, rispettivamente il fattore di amplificazione stratigrafica e di amplificazione topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione S=S_S*S_T; T_B è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale; C_C è il coefficiente che modifica il valore del periodo T_C*, T_C = C_C*T_C* è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro della componente orizzontale; T_D è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro della componente orizzontale. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

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

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

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

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

L'impalcato è isolato con isolatori elastomerici ad elevato smorzamento (15%) e quindi lo spettro è scalato di

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$

η=1 fino a 0,8 del periodo dell'impalcato isolato T_i ed η=0,71 a partire da 0.8 del periodo dell'impalcato isolato.

Periodo dell'isolatore

Isolato	true
Tisol	2.109 s
csi	15.000 %
q	1.00
η	0.71

Tabella 4.6: Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Con riferimento al caso specifico, si riporta in figura lo spettro elastico per componente orizzontale.

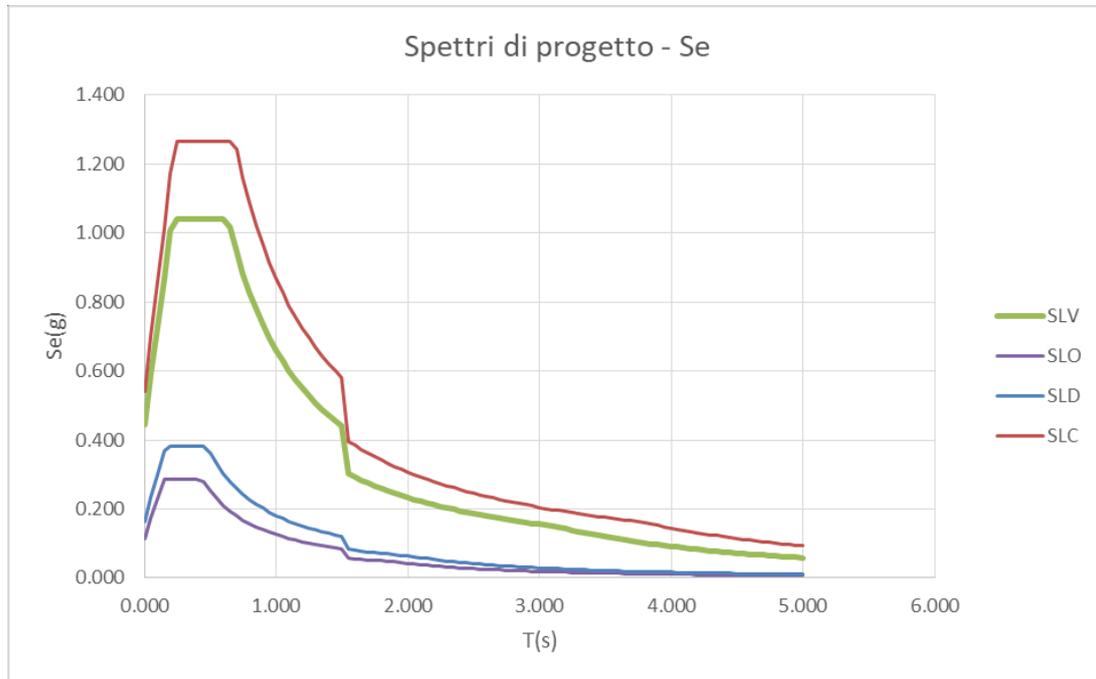


Figura 4.4: Spettro elastico per la componente orizzontale

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente verticale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Stato limite	Suolo	Categ. Top.	S_S	S_T	S	C_C	T_B	T_C	T_D
SLO	C	T1	1.00	1.00	1.00	1.608	0.050	0.150	1.000
SLD	C	T1	1.00	1.00	1.00	1.550	0.050	0.150	1.000
SLV	C	T1	1.00	1.00	1.00	1.345	0.050	0.150	1.000
SLC	C	T1	1.00	1.00	1.00	1.294	0.050	0.150	1.000

Tabella 4.5: Parametri per la definizione dello spettro elastico verticale

In quest'ultima la tipologia di suolo presente in corrispondenza dell'opera, tipologia "C", determina i valori di S_S ed S_T , rispettivamente il fattore di amplificazione stratigrafica e di amplificazione topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione $S=S_S*S_T$; T_B è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale; C_C è il coefficiente che modifica il valore del periodo T_C^* , $T_C = C_C*T_C^*$ è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro della componente orizzontale; T_D è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro della componente verticale. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

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

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

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

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

Con riferimento al caso specifico, si riporta in figura lo spettro elastico per componente verticale.

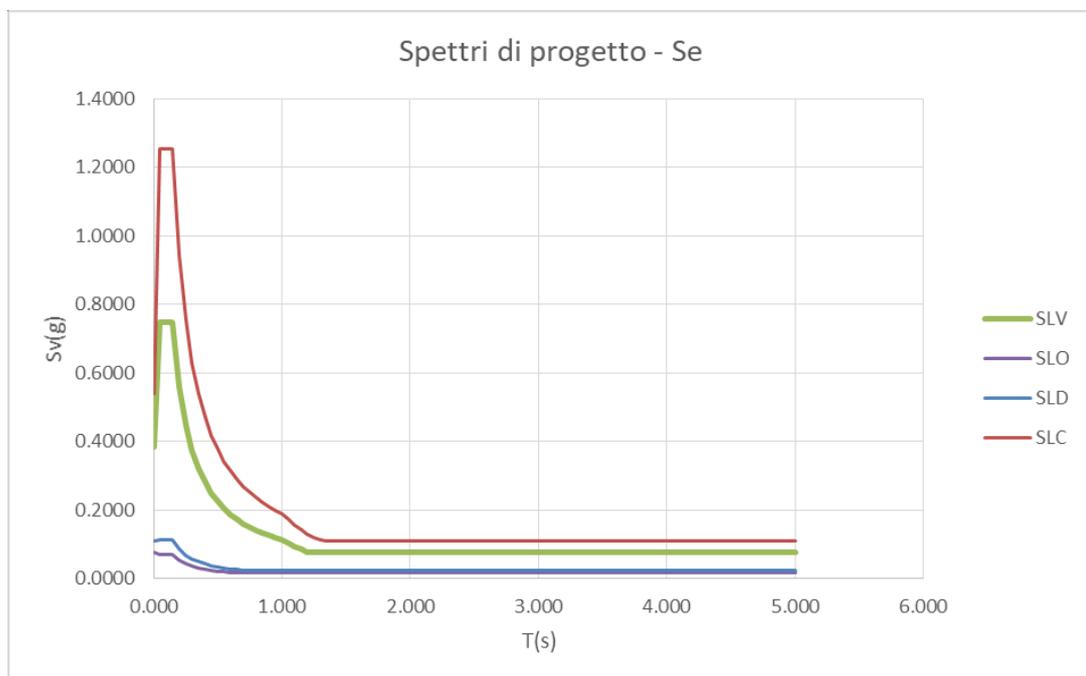


Figura 4.6: Spettro elastico per la componente verticale

Le azioni sismiche sono calcolate considerando come spettro di progetto lo spettro elastico, cioè considerando $q=1$ ma non sono dimensionanti per il calcolo degli elementi principali dell'impalcato.

4.3.6 Azioni sui traversi per stabilizzare la piattabanda inferiore

I traversi correnti formano con gli irrigidenti ed una porzione collaborante di anima delle travi longitudinali, dei telai trasversali che stabilizzano le piattabande inferiori compresse.

Le forze orizzontali di SLU applicate alla base dei telai trasversali sono calcolate in accordo ad EN1993-2, 6.3.4.2 (5) a partire dalla massima compressione media rilevata nella piattabanda inferiore.

Si ha pertanto:

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$\sigma_{min} =$	235	N/mm ²	
A Pinf =	54000	mm ²	=900x60
NEd=	1.27E+07	N	
FEd=1/100 NEd=	126900	N	

Tabella 4.7 Azioni aggiuntive applicate ai traversi

Tali azioni aggiuntive verranno considerate unicamente nelle verifiche S.L.U. dei traversi.

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Per l'impalcato in esame, si evidenzia preliminarmente che, tra le azioni variabili da traffico nelle verifiche globali, si considereranno solamente i carichi di gruppo 1.

Per le formulazioni generali delle combinazioni di carico nell'ambito dei vari S.L. si rimanda a NTC-08 cap. 2.5.3 (rif. Eurocodice EN 1990-annex.A2, cap. A2.3, A2.4).

S.L.U. - fondamentale

Con riferimento ai carichi significativi, la combinazione assume la seguente forma:

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{Sp} G_{Sp} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{sett.} G_{ksett.} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,1} (Q_{k,TS} + Q_{k,UDL}) + \gamma_{q,2} \psi_{0,2} Q_{k,T} + \gamma_{q,3} \psi_{0,3} Q_{k,v}$$

Per quanto riguarda i coefficienti moltiplicativi, si fa riferimento a quanto contenuto in NTC-08, cap. 5.1.3.12, tab. 5.1.V, ripreso da EN 1990, annex A.2, e relativo N.A.D.. Per i coefficienti si considera quanto segue:

γ_{G1}	1.35 - 1	coefficiente moltiplicativo dei sovraccarichi permanenti strutturali
γ_{Sp}	1.20 - 1	coefficiente moltiplicativo degli spostamenti o deformazioni impresse
γ_{G2}	1.35 - 1	dal momento che sono di carattere compiutamente definiti, i carichi permanenti portati verranno trattati alla stessa stregua dei carichi permanenti strutturali
$\gamma_{sett.}$	1.2 - 0	coefficiente moltiplicativo per i cedimenti vincolari
γ_{sh}	1.2 - 1.2	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro,
γ_{Q1}	1.35 - 0	coefficiente moltiplicativo per i carichi da traffico.
γ_{Q2}	1.2	coefficiente moltiplicativo per i carichi di origine termica.
γ_{Q3}	1.5	coefficiente moltiplicativo per i carichi dovuti al vento.

I coefficienti di combinazione dell'azione di temperatura e del vento, risultano (cfr. NTC-08, tab. 5.1.VI):

$$\psi_{0,2} = 0.6 \quad \psi_{0,3} = 0.6$$

Quanto evidenziato è relativo alla verifica allo S.L.U. della trave d'impalcato, per la quale risulta significativa la sola combinazione con carichi mobili dominanti.

S.L.E. - fondamentale

Con riferimento ai carichi significativi, si ha la seguente combinazione dei valori caratteristici dei carichi (indice "k").

$$E_d = G_{k1} + G_{Sp} + G_{k2} + G_{ksett.} + G_{sh} + (Q_{k,TS} + Q_{k,UDL}) + \psi_{0,2} Q_{k,T} + \psi_{0,3} Q_{k,v}$$

Il coefficiente di combinazione dell'azione di temperatura e del vento, risultano (cfr. NTC-08, tab. 5.1.VI):

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$$\psi_{0,2} = 0.6 \quad \psi_{0,3} = 0.6$$

La combinazione S.L.E. fondamentale verrà impiegata ai fini delle seguenti verifiche:

- verifica allo S.L.E., limitazione delle tensioni

S.L.E. - frequente

$$E_d = G_{k1} + G_{Sp} + G_{k2} + G_{ksett.} + G_{sh} + (\psi_{1,1TS} Q_{k,TS} + \psi_{1,1UDL} Q_{k,UDL}) + \psi_{2,2} Q_{k,T} + \psi_{2,3} Q_{k,v}$$

I coefficienti di combinazione (NTC-08, tab. 5.1.VI, EN 1991-2,) risultano:

$$\psi_{1,1} = 0.75 \text{ per i contributi TS}$$

$$\psi_{1,1} = 0.4 \text{ per i contributi UDL}$$

$$\psi_{2,2} = 0.5 \text{ per la temperatura}$$

$$\psi_{2,3} = 0.0 \text{ per il vento}$$

La combinazione S.L.E. frequente viene impiegata per:

- verifiche a fessurazione
- verifiche di deformabilità
- verifica "web breathing" per la struttura composta

Si evidenzia che tale relazione costituisce anche la combinazione "base" da prendere in esame per la valutazione della parte non ciclica delle verifiche a fatica (cfr. pp seguenti).

S.L.E. - quasi permanente

$$E_d = G_{k1} + G_{Sp} + G_{k2} + G_{ksett.} + G_{sh} + \psi_{2,2} Q_{k,T} + \psi_{2,3} Q_{k,v}$$

Risultano assenti i carichi mobili da traffico, i cui coefficienti quasi permanenti di combinazione sono nulli, mentre la temperatura viene associata al coefficiente di combinazione $\psi_{2,2} = 0.5$. e $\psi_{2,3} = 0.0$ per il vento.

S.L.U. – S.L.E. - sismica

$$E_d = E + G_{k1} + G_{k2} + G_{ksett.} + G_{sh} + (\psi_{2,1TS} Q_{k,TS} + \psi_{2,1UDL} Q_{k,UDL}) + \psi_{2,2} Q_{k,T} + \psi_{2,3} Q_{k,v}$$

I coefficienti di combinazione (NTC-08, tab. 5.1.VI, EN 1991-2,) risultano:

$$\psi_{2,1} = 0 \text{ per i contributi TS}$$

$$\psi_{2,1} = 0 \text{ per i contributi UDL}$$

$$\psi_{2,2} = 0.5 \text{ per la temperatura}$$

$$\psi_{2,3} = 0.0 \text{ per il vento}$$

S.L.U. - eccezionale

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{ksett.} + G_{sh} + (\psi_{2,1TS} Q_{k,TS} + \psi_{2,1UDL} Q_{k,UDL}) + \psi_{2,2} Q_{k,T} + \psi_{2,3} Q_{k,v}$$

I coefficienti di combinazione (NTC-08, tab. 5.1.VI, EN 1991-2,) risultano:

$$\psi_{2,1} = 0 \text{ per i contributi TS}$$

$$\psi_{2,1} = 0 \text{ per i contributi UDL}$$

$$\psi_{2,2} = 0.5 \text{ per la temperatura}$$

$\psi_{2,3} = 0.0$ per il vento

S.L.U. - fatica

L'approccio scelto per le verifiche a fatica è quello definito "a danneggiamento".

Per la modellazione della parte ciclica dei carichi si adotta il modello di carico per fatica n.3, unitamente al metodo dei coefficienti λ , i cui criteri generali sono contenuti nelle istruzioni NTC-08 C.4.2.4.1.4.6.3 (rif. Eurocodice EN1993-1-8 cap. 6.3).

L'elaborazione della combinazione di verifica a fatica viene effettuata con riferimento a quanto previsto in EN 1992-1-1 cap. 6.8.3(P)1), sovrapponendo le sollecitazioni indotte dalla parte ciclica dei carichi a quello indotto dalla parte non ciclica. Relativamente alla parte non ciclica, si fa riferimento alla combinazione S.L.E. frequente, in cui i carichi variabili sono costituiti dai contributi "non leading" significativi (in questo caso la sola temperatura), mentre la parte ciclica è costituita dalle sollecitazioni indotte dal transito del veicolo FLM3, sulla corsia lenta reale predisposta sul piano viabile.

Pertanto, l'ampiezza del Δ di tensione viene valutata sulla base di:

$$\Sigma G_{k,j} + \psi_{2,2} Q_{k,T} + Q_{fat(FLM3)}$$

Si evidenzia che, come necessario, si tiene conto, nell'ambito del calcolo del massimo/minimo effetto, dell'eventuale cambio di "stato" (cracked/uncracked) della soletta.

Le combinazioni di carico vengono elaborate dal sistema ad elementi finiti Lusas, con un algoritmo denominato "Smart Combination" che procede, in automatico, a selezionare i due coefficienti moltiplicativi delle azioni γ_{fav} , γ_{unfav} per massimizzare/minimizzare la caratteristica di sollecitazione prescelta.

Tale possibilità rende estremamente semplice ed immediato l'elaborazione di tutte le combinazioni, individuando la situazione più sfavorevole.

6. ANALISI STRUTTURALE IMPALCATO

6.1 SOLLECITAZIONI TRAVE

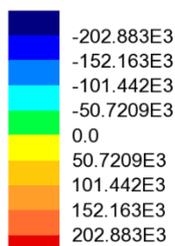
A valle dell'analisi strutturale, effettuate per le singole condizioni di carico, vengono eseguiti gli involuppi e le combinazioni pertinenti ai vari scopi, rispettivamente per max/min V e max/min M.

Nel seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni della travata SX organizzati per condizioni di carico elementari e per involuppi di progetto.

Coazione_S1+S2

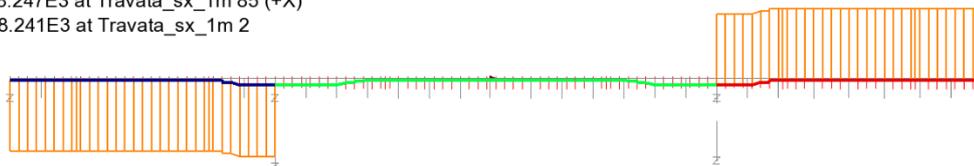
Entity: Beam/Shell Slice Resultants

Component: Fz (Units: N)



Maximum 228.247E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)

Minimum -228.241E3 at Travata_sx_1m 2

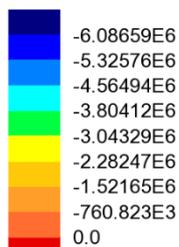


Coazione spalla 1 + spalla 2 - Fz

Coazione_S1+S2

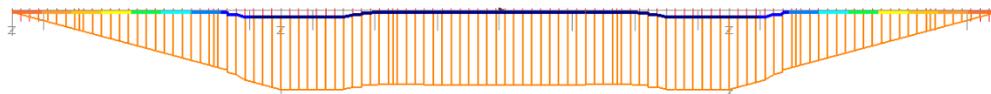
Entity: Beam/Shell Slice Resultants

Component: My (Units: N.m)



Maximum 0.0 at Travata_sx_1m 1

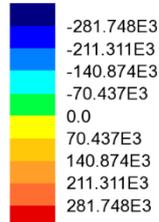
Minimum -6.84741E6 at Travata_sx_1m 84



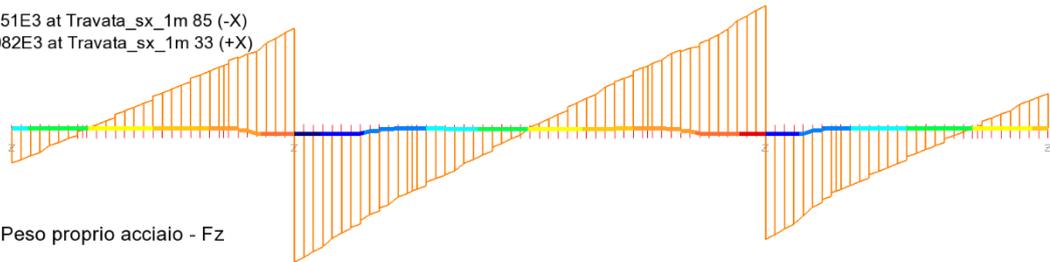
Coazione spalla 1 + spalla 2 - My

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase1
Loadcase: 2:PPacc
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

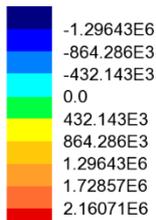


Maximum 316.851E3 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -317.082E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)

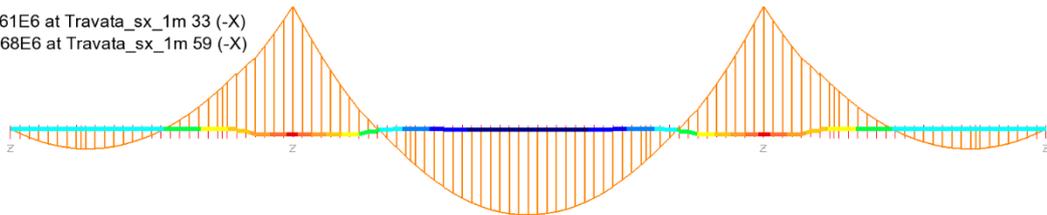


Gk1 - Peso proprio acciaio - Fz

Analysis: Fase1
Loadcase: 2:PPacc
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



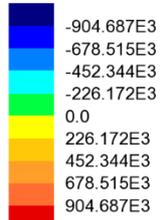
Maximum 2.33161E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum -1.55768E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



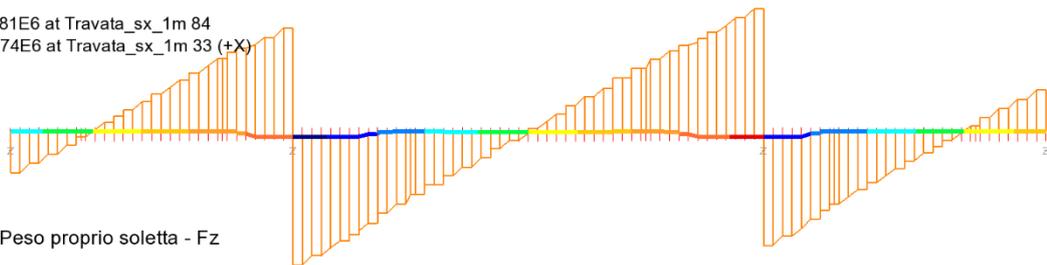
Gk1 - Peso proprio acciaio - My

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

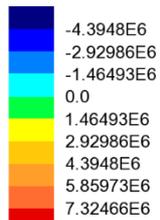
Analysis: Fase1
Loadcase: 5:PPsoletta
Results file: Margi_impalcato_rev2-Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



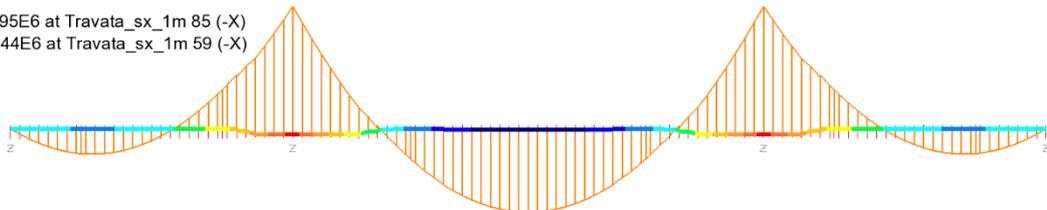
Maximum 1.01781E6 at Travata_sx_1m 84
Minimum -1.01774E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)



Analysis: Fase1
Loadcase: 5:PPsoletta
Results file: Margi_impalcato_rev2-Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

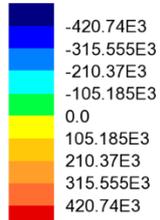


Maximum 8.00695E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -5.17744E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)

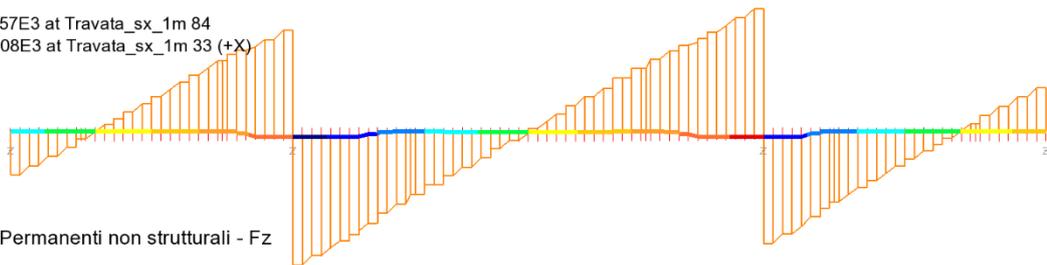


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase2a
Loadcase: 3:Permanenti
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2a.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

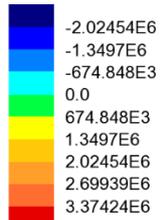


Maximum 473.357E3 at Travata_sx_1m 84
Minimum -473.308E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)

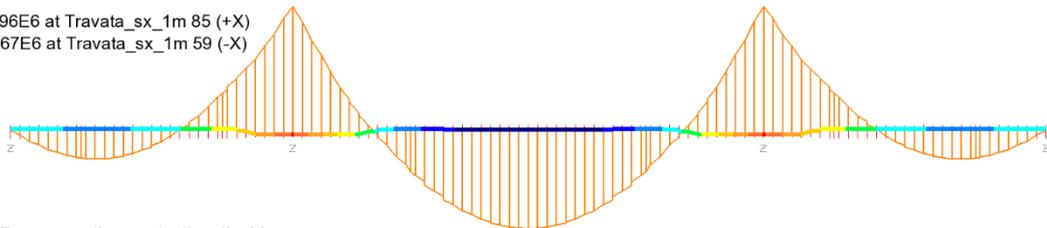


Gk2 - Permanenti non strutturali - Fz

Analysis: Fase2a
Loadcase: 3:Permanenti
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2a.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



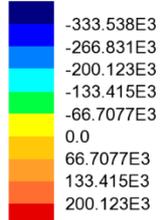
Maximum 3.42396E6 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -2.64967E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



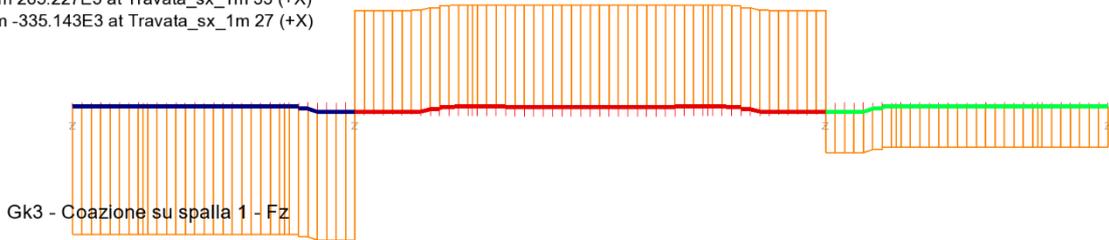
Gk2 - Permanenti non strutturali - My

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

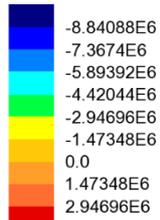
Analysis: Fase1
Loadcase: 392:Coazione_appoggi_S1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



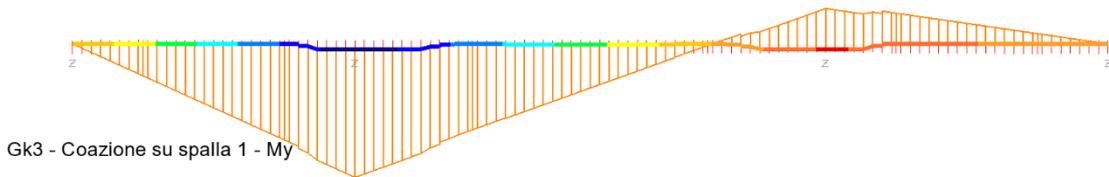
Maximum 265.227E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)
Minimum -335.143E3 at Travata_sx_1m 27 (+X)



Analysis: Fase1
Loadcase: 392:Coazione_appoggi_S1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

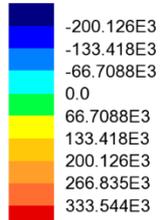


Maximum 3.20705E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -10.0543E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)

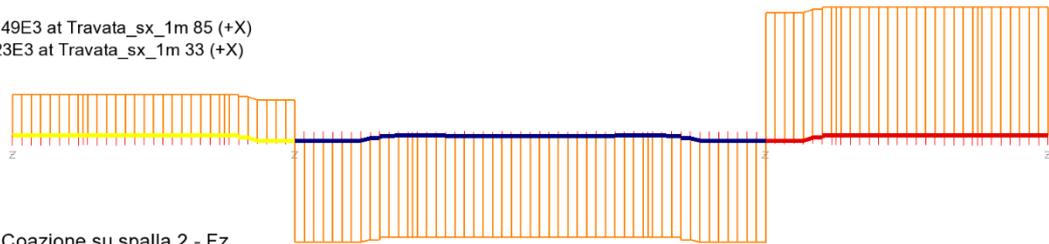


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

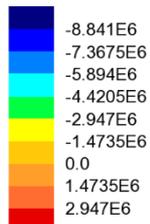
Analysis: Fase1
Loadcase: 393:Coazione_appoggi_S2
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



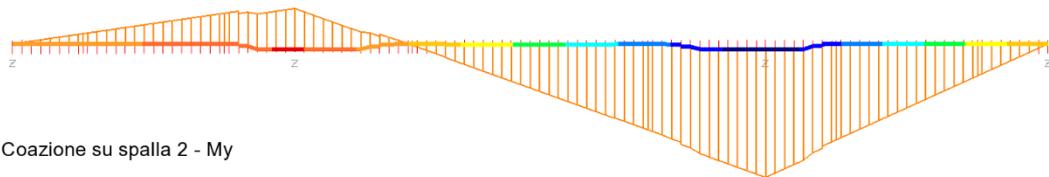
Maximum 335.149E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -265.23E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)



Analysis: Fase1
Loadcase: 393:Coazione_appoggi_S2
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase1.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

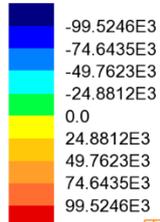


Maximum 3.20705E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum -10.0545E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)

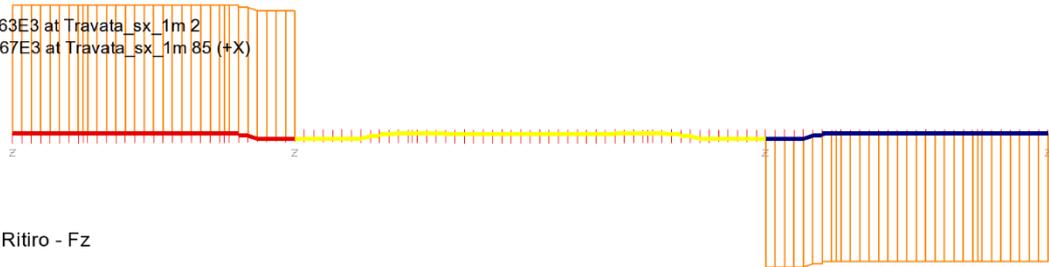


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase2b
Loadcase: 4:Ritiro
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

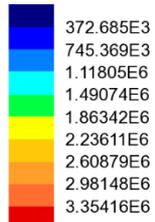


Maximum 111.963E3 at Travata_sx_1m 2
Minimum -111.967E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)

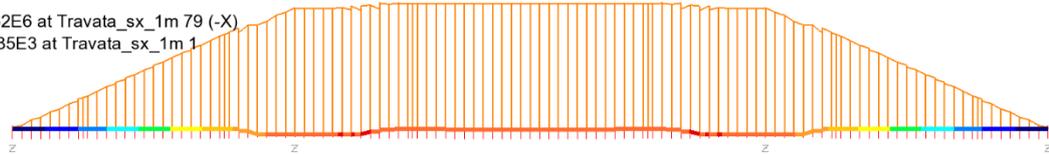


Gsh - Ritiro - Fz

Analysis: Fase2b
Loadcase: 4:Ritiro
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



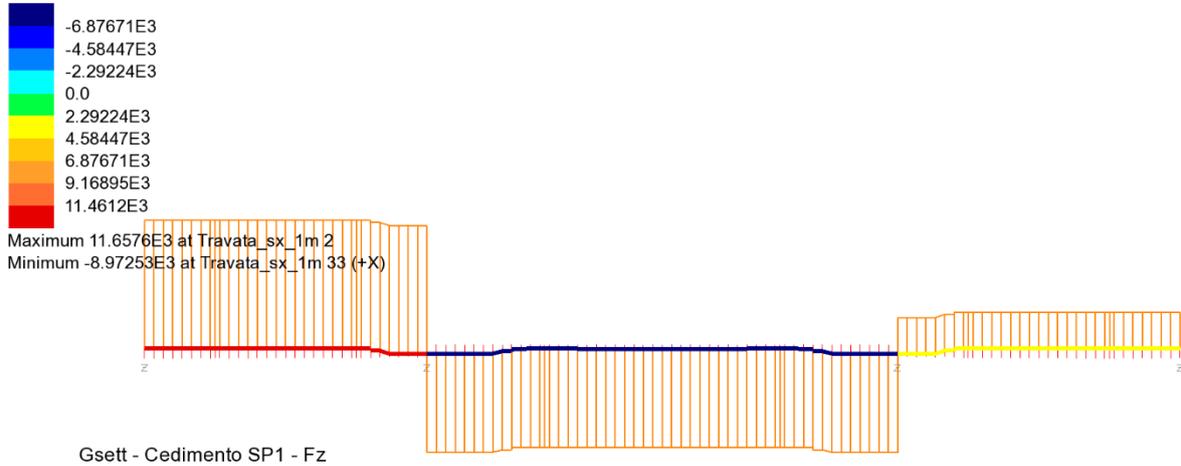
Maximum 3.3962E6 at Travata_sx_1m 79 (-X)
Minimum 42.0385E3 at Travata_sx_1m 1



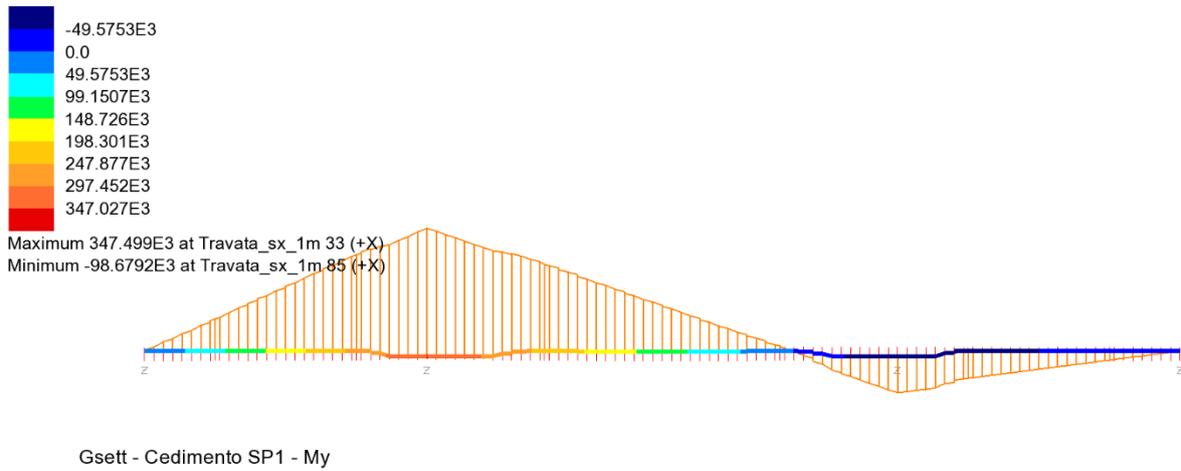
Gsh - Ritiro - My

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase2b
Loadcase: 6:Cedim_Sp1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

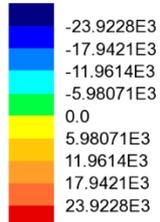


Analysis: Fase2b
Loadcase: 6:Cedim_Sp1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

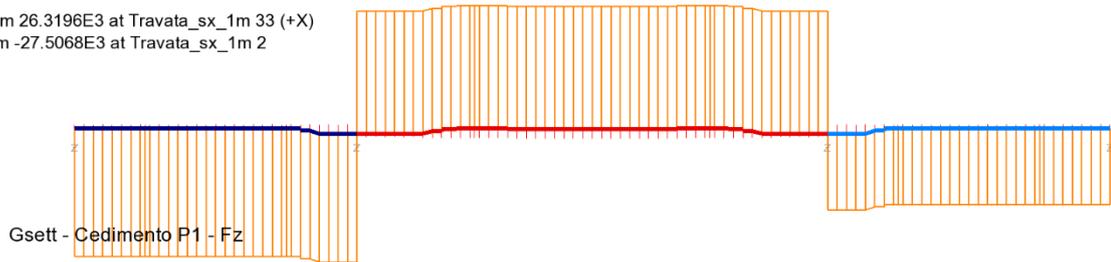


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

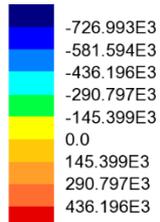
Analysis: Fase2b
Loadcase: 7:Cedim_P1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



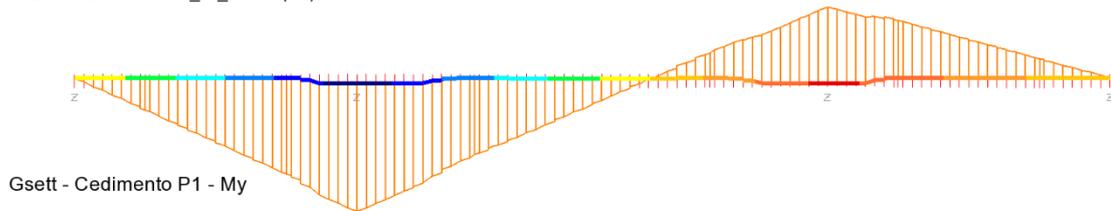
Maximum 26.3196E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)
Minimum -27.5068E3 at Travata_sx_1m 2



Analysis: Fase2b
Loadcase: 7:Cedim_P1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

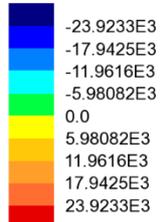


Maximum 488.388E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -820.198E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)

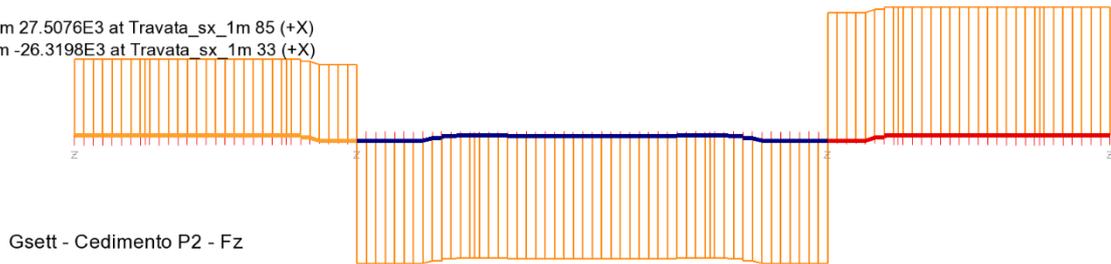


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

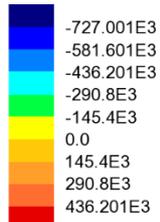
Analysis: Fase2b
Loadcase: 8:Cedim_P2
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



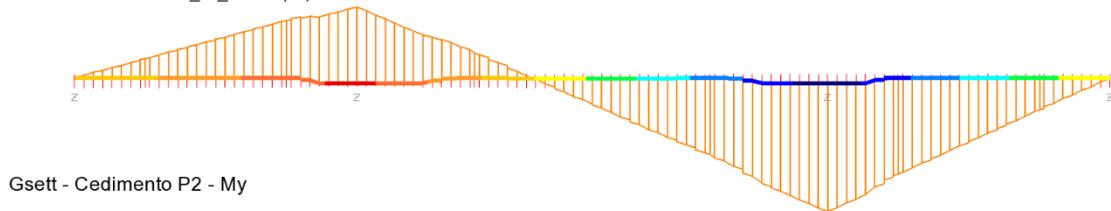
Maximum 27.5076E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -26.3198E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)



Analysis: Fase2b
Loadcase: 8:Cedim_P2
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

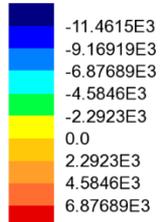


Maximum 488.38E3 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum -820.222E3 at Travata_sx_1m 85 (-X)

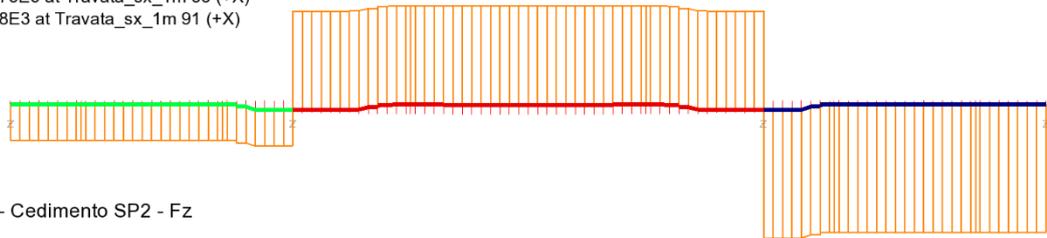


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase2b
Loadcase: 9:Cedim_Sp2
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

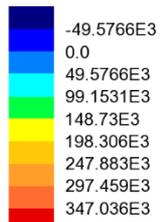


Maximum 8.97273E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)
Minimum -11.658E3 at Travata_sx_1m 91 (+X)

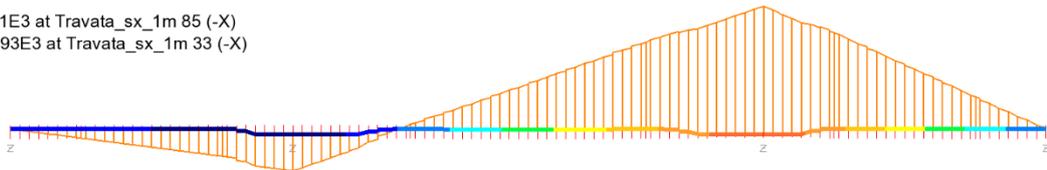


Gsett - Cedimento SP2 - Fz

Analysis: Fase2b
Loadcase: 9:Cedim_Sp2
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase2b.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



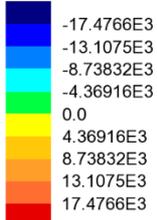
Maximum 347.51E3 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -98.6793E3 at Travata_sx_1m 33 (-X)



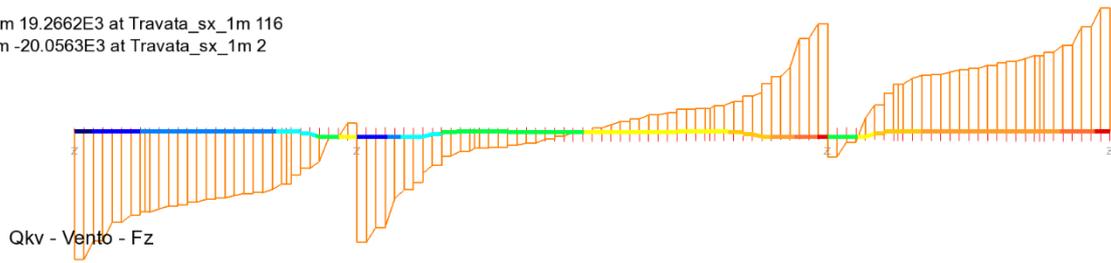
Gsett - Cedimento SP2 - My

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

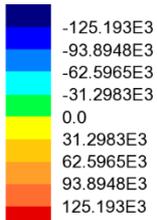
Analysis: Fase3
Loadcase: 1:Vento
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



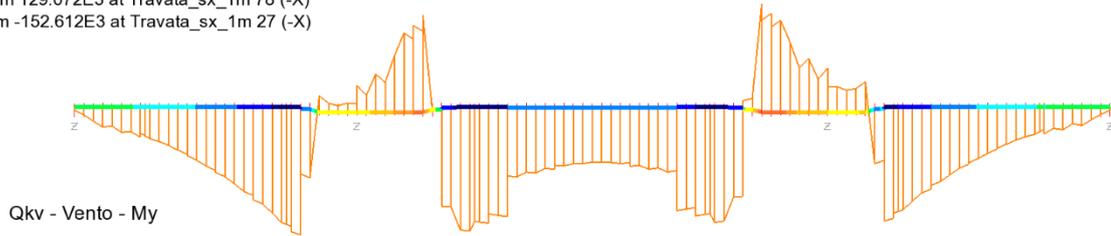
Maximum 19.2662E3 at Travata_sx_1m 116
Minimum -20.0563E3 at Travata_sx_1m 2



Analysis: Fase3
Loadcase: 1:Vento
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

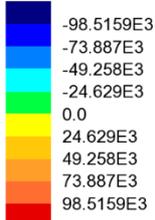


Maximum 129.072E3 at Travata_sx_1m 78 (-X)
Minimum -152.612E3 at Travata_sx_1m 27 (-X)

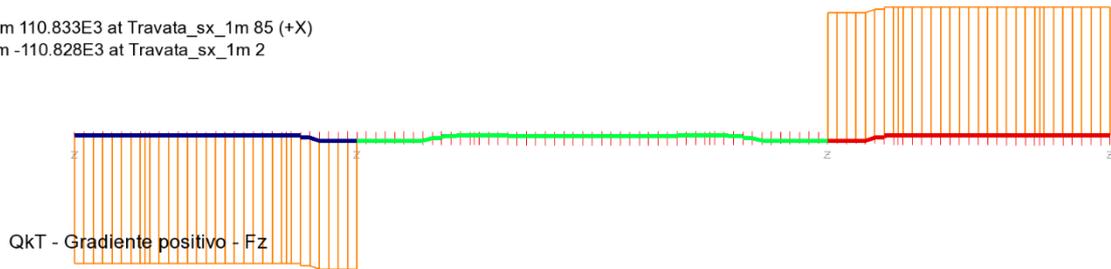


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

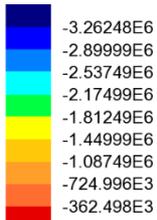
Analysis: Fase3
Loadcase: 12:DT_M_Heat
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



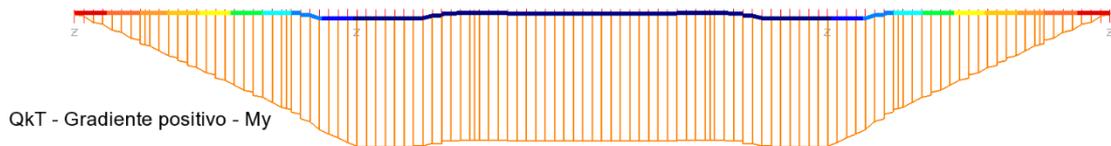
Maximum 110.833E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -110.828E3 at Travata_sx_1m 2



Analysis: Fase3
Loadcase: 12:DT_M_Heat
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

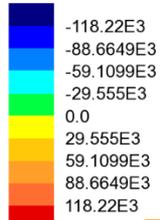


Maximum -41.0757E3 at Travata_sx_1m 1
Minimum -3.30356E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)

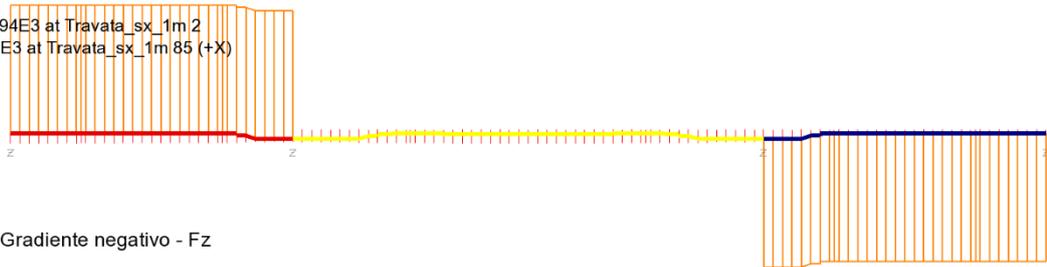


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase3
Loadcase: 13:DT_M_Cool
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

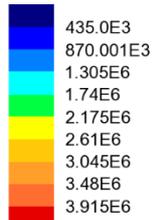


Maximum 132.994E3 at Travata_sx_1m 2
Minimum -133.0E3 at Travata_sx_1m 85 (+X)

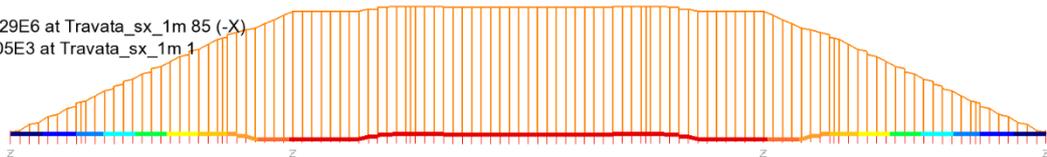


QkT - Gradiente negativo - Fz

Analysis: Fase3
Loadcase: 13:DT_M_Cool
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



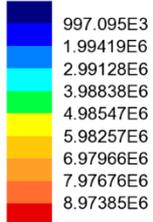
Maximum 3.96429E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum 49.2905E3 at Travata_sx_1m 1



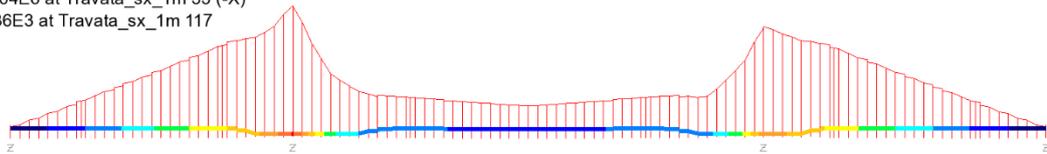
QkT - Gradiente negativo - My

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: My
Traffico_k (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

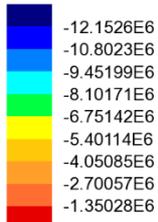


Maximum 9.08604E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum 112.186E3 at Travata_sx_1m 117

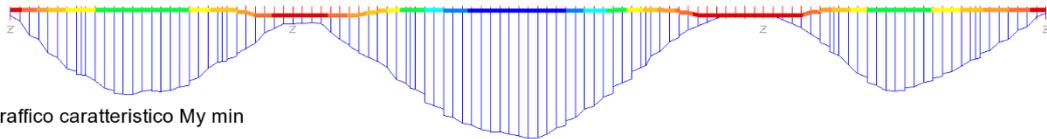


Qk - Traffico caratteristico My max

Combining on: My
Traffico_k (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



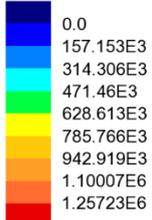
Maximum 0.0 at Travata_sx_1m 81
Minimum -12.1526E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



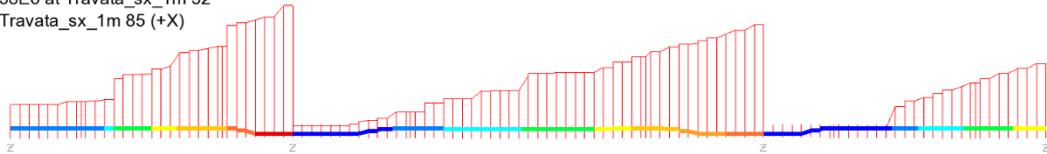
Qk - Traffico caratteristico My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fz
Traffico_k (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

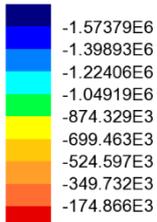


Maximum 1.41438E6 at Travata_sx_1m 32
Minimum 0.0 at Travata_sx_1m 85 (+X)

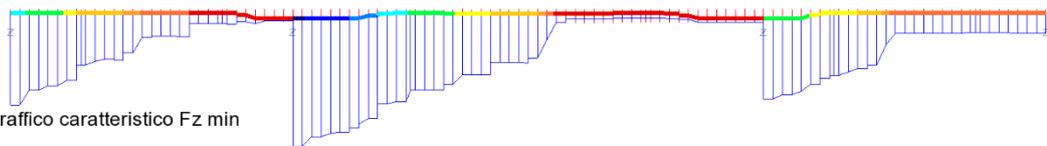


Qk - Traffico caratteristico Fz max

Combining on: Fz
Traffico_k (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



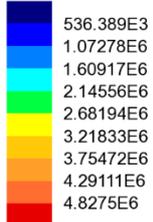
Maximum -31.6132E3 at Travata_sx_1m 30
Minimum -1.60541E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)



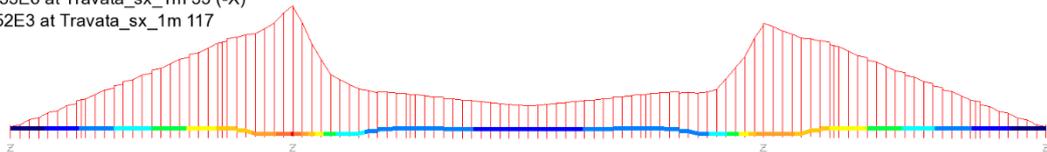
Qk - Traffico caratteristico Fz min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: My
Traffico_freq (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

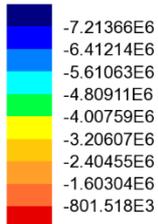


Maximum 4.88953E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum 62.0352E3 at Travata_sx_1m 117

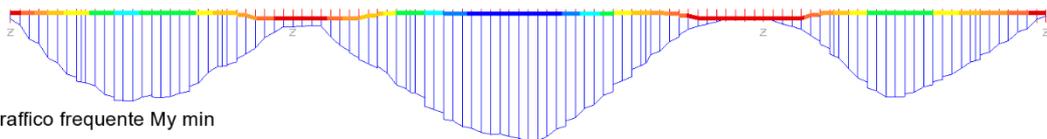


Qk - Traffico frequente My max

Combining on: My
Traffico_freq (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



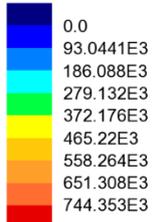
Maximum 0.0 at Travata_sx_1m 82
Minimum -7.21366E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



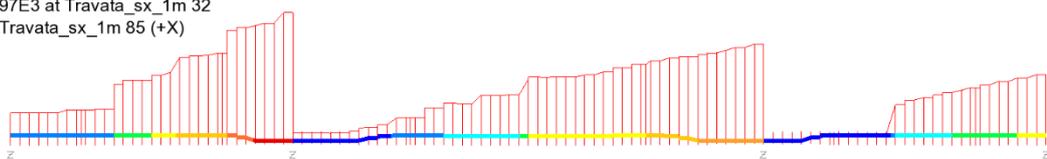
Qk - Traffico frequente My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fz
Traffico_freq (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

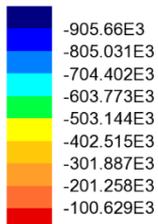


Maximum 837.397E3 at Travata_sx_1m 32
Minimum 0.0 at Travata_sx_1m 85 (+X)

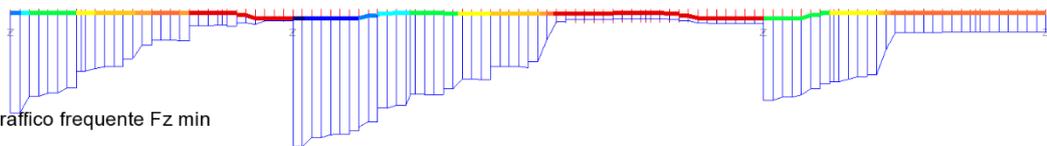


Qk - Traffico frequente Fz max

Combining on: Fz
Traffico_freq (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



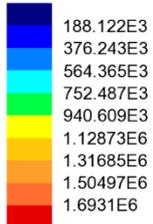
Maximum -18.04E3 at Travata_sx_1m 30
Minimum -923.7E3 at Travata_sx_1m 33 (+X)



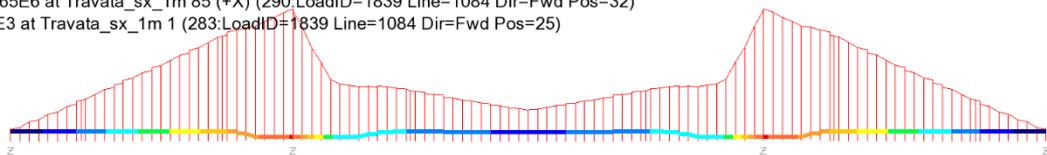
Qk - Traffico frequente Fz min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Enveloping on: My
FLM3 (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

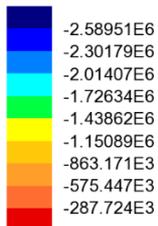


Maximum 1.71765E6 at Travata_sx_1m 85 (+X) (290:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=32)
Minimum 24.55E3 at Travata_sx_1m 1 (283:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=25)

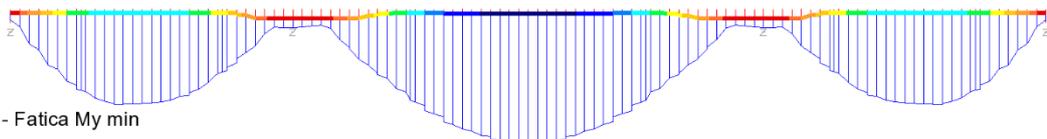


FLM3 - Fatica My max

Enveloping on: My
FLM3 (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



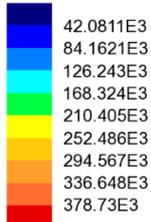
Maximum -143.888E3 at Travata_sx_1m 82 (267:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=9)
Minimum -2.7334E6 at Travata_sx_1m 59 (-X) (285:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=27)



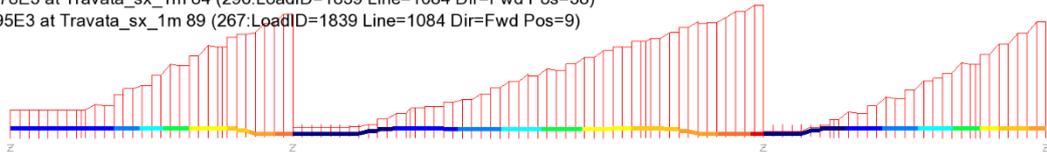
FLM3 - Fatica My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Enveloping on: Fz
FLM3 (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

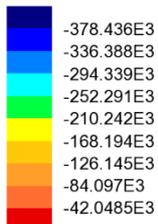


Maximum 385.678E3 at Travata_sx_1m 84 (296:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=38)
Minimum 6.94895E3 at Travata_sx_1m 89 (267:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=9)

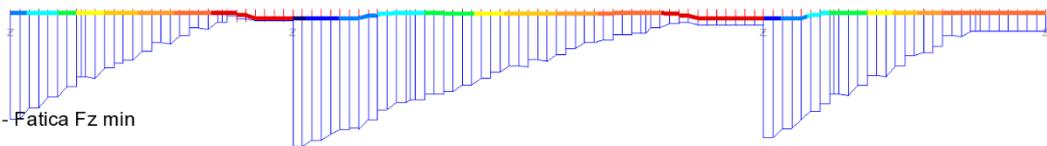


FLM3 - Fatica Fz max

Enveloping on: Fz
FLM3 (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



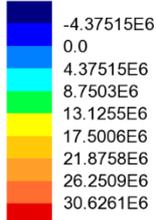
Maximum -6.99849E3 at Travata_sx_1m 29 (306:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=48)
Minimum -385.435E3 at Travata_sx_1m 33 (+X) (277:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=19)



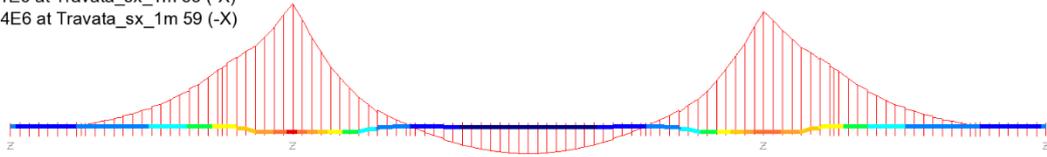
FLM3 - Fatica Fz min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: My
SLU_Fond (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

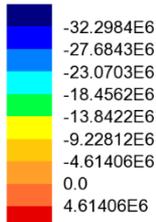


Maximum 32.531E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum -6.8454E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)

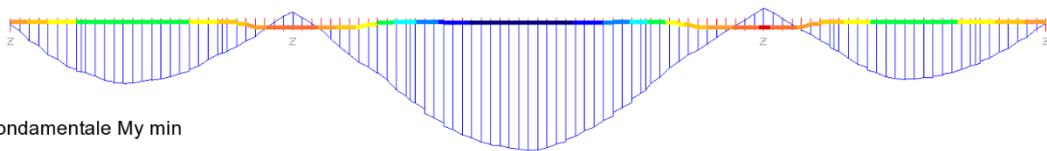


SLU fondamentale My max

Combining on: My
SLU_Fond (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



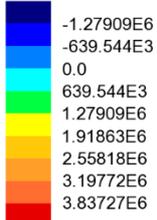
Maximum 5.40639E6 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -36.1201E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



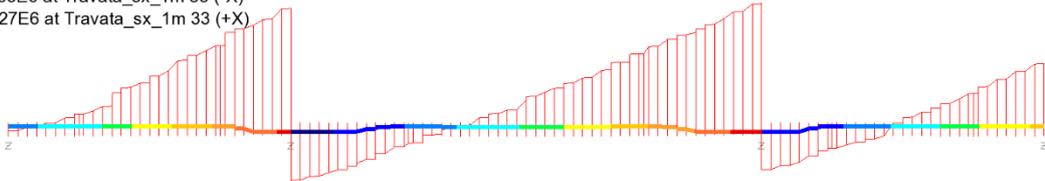
SLU fondamentale My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fz
SLU_Fond (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

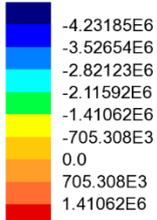


Maximum 4.17263E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -1.58327E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)

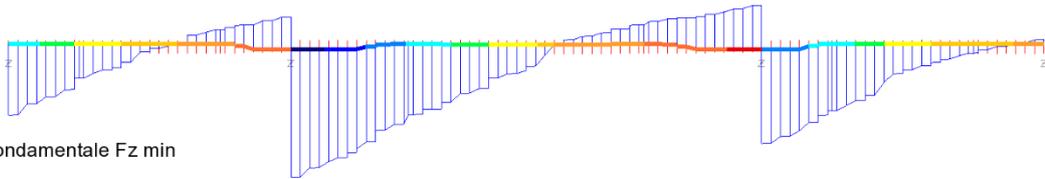


SLU fondamentale Fz max

Combining on: Fz
SLU_Fond (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



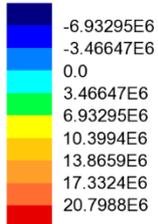
Maximum 1.62923E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -4.71854E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)



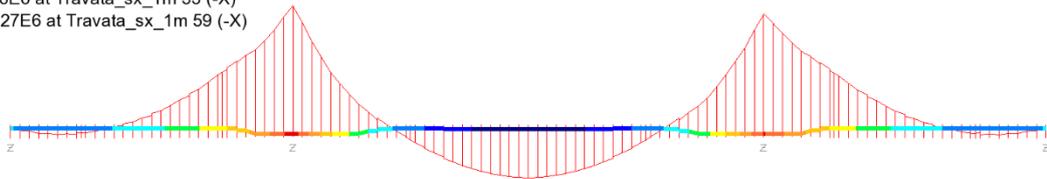
SLU fondamentale Fz min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: My
SLE_rara (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

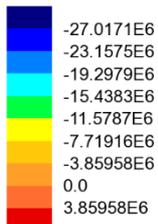


Maximum 22.576E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum -8.62227E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)

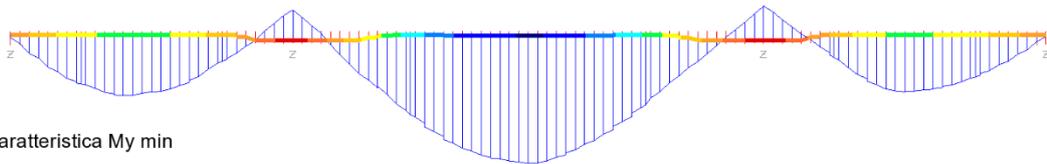


SLE caratteristica My max

Combining on: My
SLE_rara (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



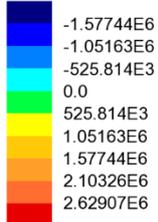
Maximum 7.33812E6 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -27.3981E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



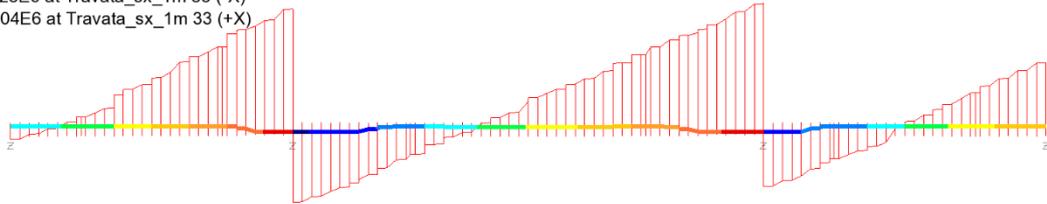
SLE caratteristica My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fz
SLE_rara (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

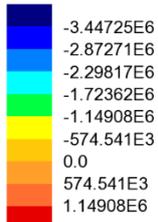


Maximum 3.05428E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -1.67804E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)

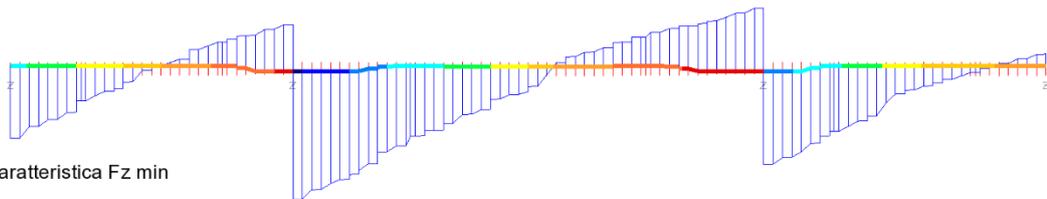


SLE caratteristica Fz max

Combining on: Fz
SLE_rara (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



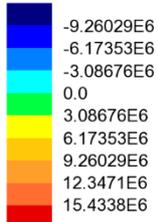
Maximum 1.71213E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -3.45874E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)



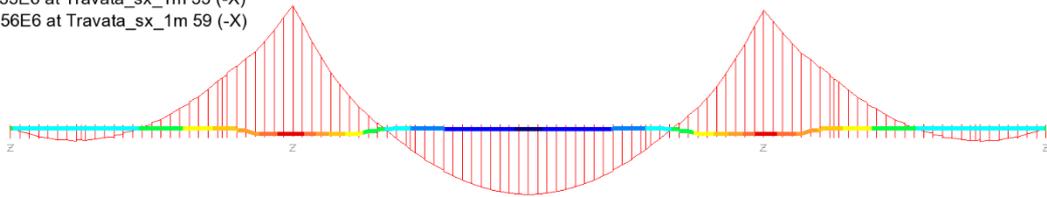
SLE caratteristica Fz min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: My
SLE_freq (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)

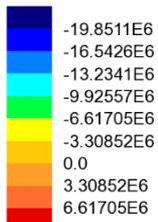


Maximum 18.3733E6 at Travata_sx_1m 33 (-X)
Minimum -9.40756E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)

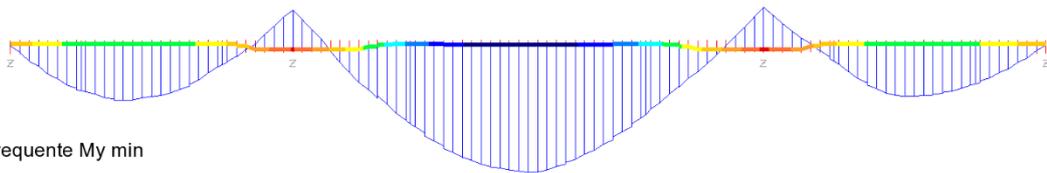


SLE frequente My max

Combining on: My
SLE_freq (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: My (Units: N.m)



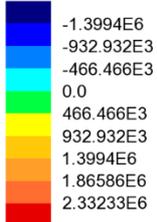
Maximum 7.35652E6 at Travata_sx_1m 85 (+X)
Minimum -22.4202E6 at Travata_sx_1m 59 (-X)



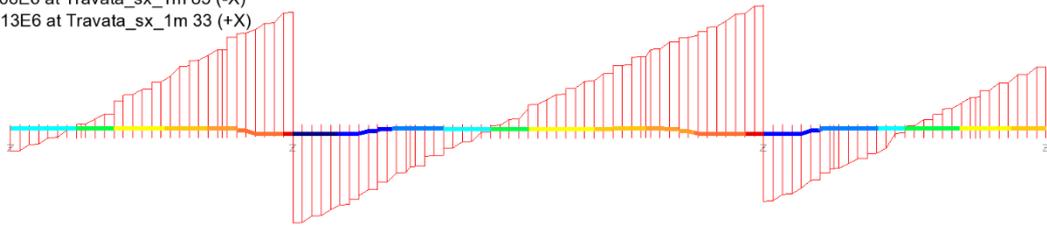
SLE frequente My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fz
SLE_freq (Max)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)

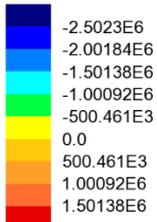


Maximum 2.47506E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -1.72313E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)

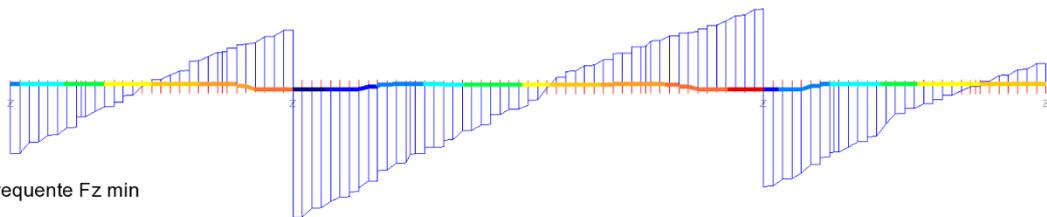


SLE frequente Fz max

Combining on: Fz
SLE_freq (Min)
Entity: Beam/Shell Slice Resultants
Component: Fz (Units: N)



Maximum 1.73703E6 at Travata_sx_1m 85 (-X)
Minimum -2.76711E6 at Travata_sx_1m 33 (+X)



SLE frequente Fz min

6.2 DEFORMAZIONI E CONTRO FRECCE

Si riporta di seguito lo stato deformato dell'impalcato a tempo infinito a fenomeni lenti esauriti, per la travata sinistra, in cui sono stati massimizzate le deformazioni.

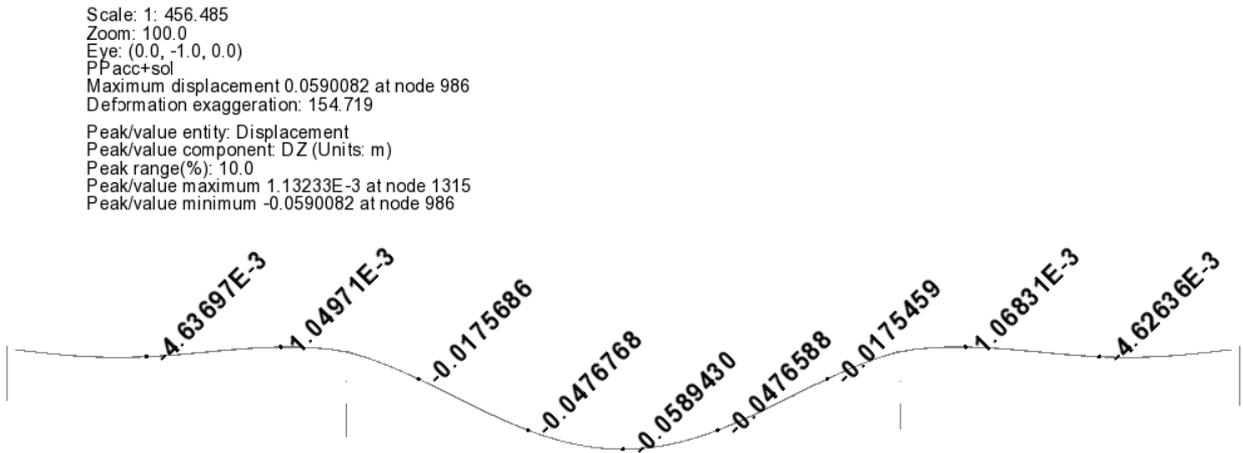


Figura 6.1: Deformata verticale peso proprio (Fase 1)

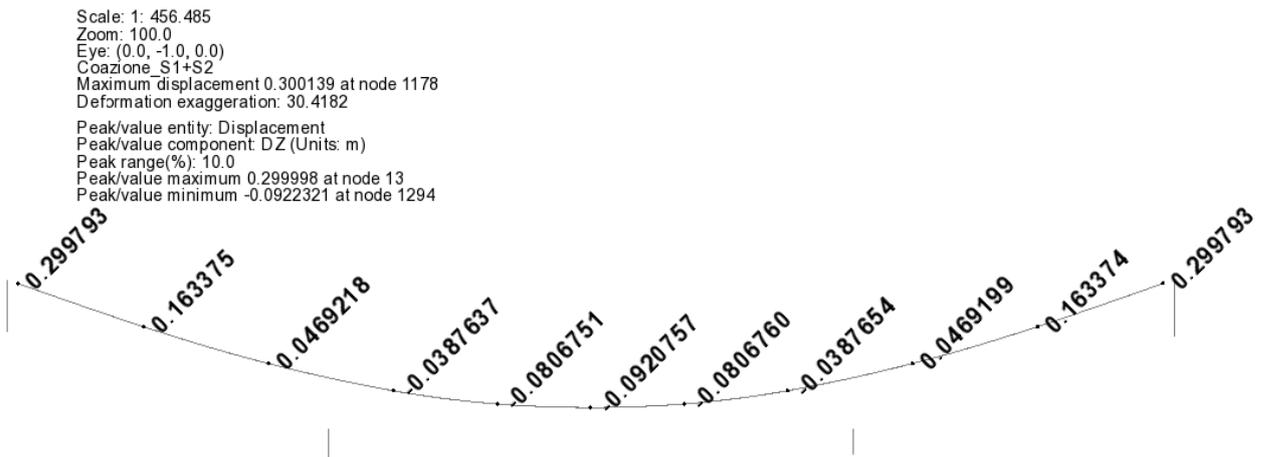


Figura 6.2: Deformata verticale coazioni (spostamenti impressi ad appoggi spalla pari a 30 cm) (Fase 1)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

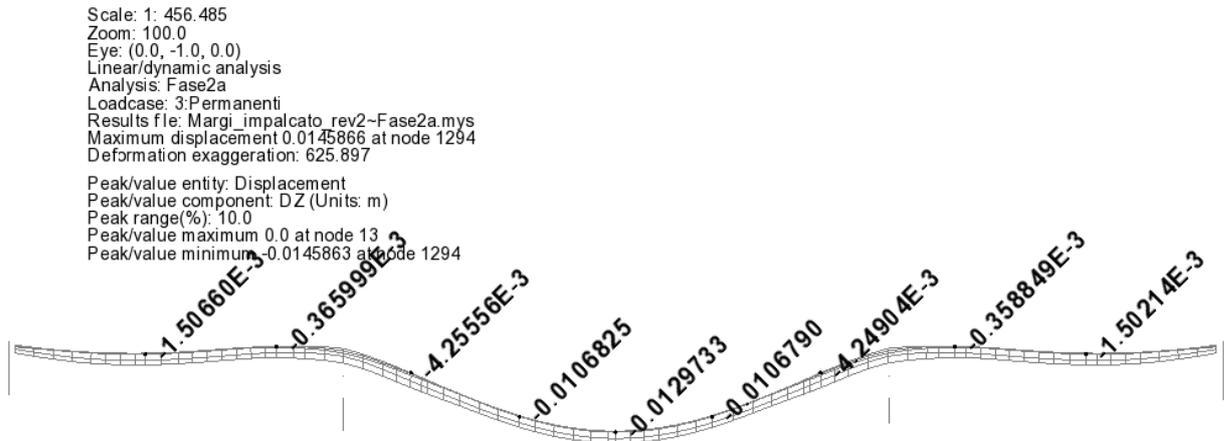


Figura 6.3: Deformata verticale carico permanente (Fase 2a)

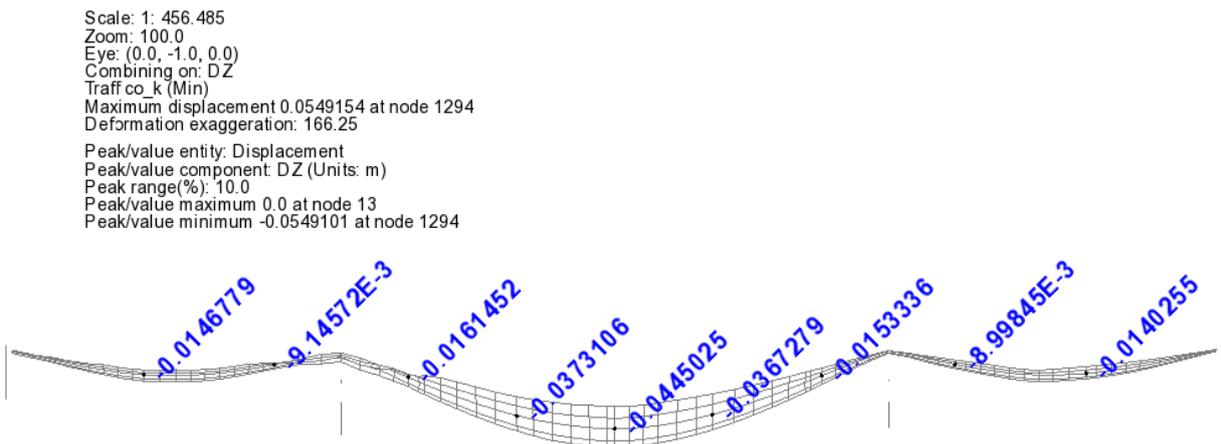


Figura 6.4: Deformata verticale carico da traffico (Fase 3b)

6.2.1 Verifica massime deformazioni impalcato

Come si può notare, le frecce permangono contenute entro limiti ampiamente soddisfacenti, rilevandosi:

$$L/\delta_{\max} = 1176 \quad \text{per effetto dei soli carichi mobili}$$

6.2.2 Calibrazione contromonte d'officina

Si prevedono opportune contromonte d'officina sia per compensare le frecce dovute ai carichi permanenti e ad una parte dei carichi da traffico (20%), sia per generare un precarico di compressione sulle spalle (come descritto nel capitolo relativo ai carichi applicati al modello).

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

La calibrazione di tali contromonte avviene sulla base delle frecce dovute ai carichi di peso proprio, permanente, ad un'aliquota dei carichi accidentali fissata nel 20 % e agli effetti degli spostamenti impressi alle spalle traslati verso il basso di 30 cm.

Nella tabella e nel grafico che seguenti si riportano gli spostamenti teorici rilevati nei giunti della travata, e le rispettive contro frecce.

		PP	COAZIONI	PERM	TRAFFICO K	PP+PERM+20% TRAFFICO K+COAZIONI	CONTROFRECCIA
Node	X [m]	DZ[m]	DZ[m]	DZ[m]	DZ[m]	DZ[m]	DZ[m]
	0	-	0	-	-	-	0
1110	12	-0.005	-0.1366	-0.002	-0.015	0.146	0.15
1119	24	0.001	-0.2531	-0.000	-0.009	0.254	0.25
	30	-	-0.3	-	-	0.300	0.3
1127	36	-0.018	-0.33876	-0.004	-0.016	0.364	0.35
1134	46	-0.048	-0.38067	-0.011	-0.037	0.446	0.48
1140	55	-0.059	-0.39208	-0.013	-0.045	0.473	0.48
1146	64	-0.048	-0.38068	-0.011	-0.037	0.446	0.48
1153	74	-0.018	-0.33876	-0.004	-0.015	0.364	0.35
	80	-	-0.3	-	-	0.300	0.3
1161	86	0.001	-0.2531	-0.000	-0.009	0.254	0.25
1170	98	-0.005	-0.13663	-0.002	-0.001	0.143	0.15
	110	-	0	-	-	-	-

Tabella 6.1 Tabella contromonte



Figura 6.5: Frecce teoriche e controfrecce dovute a peso proprio, permanente ed aliquota di traffico

7. VERIFICA IMPALCATO METALLICO

Per le modalità operative proprie del software di verifica PontiEC4, si rimanda ai capitoli introduttivi.

Nei capitoli seguenti si riportano tutti i risultati inerenti il ciclo di verifica della sezione composta, risultati che vengono esposti in forma diagrammatica, in termini di rapporto di sfruttamento.

7.1 VERIFICA TRAVI LONGITUDINALI

Le sollecitazioni di verifica vengono direttamente dedotte dalle combinazioni del modello ad elementi finiti.

Data la configurazione planimetrica dell'opera, che presenta asse rettilineo, l'attenzione viene focalizzata indifferentemente su una delle due travi longitudinali.

7.1.1 S.L.U. - resistenza delle sezioni – rapporti di sfruttamento

Si riportano di seguito i diagrammi, per metà impalcato, dei seguenti rapporti di sfruttamento:

max η assoluto

Derivante dall'interazione N/M/V (EN1993-1-5, 7.1.(1)); nei casi in cui non vi è interazione, tale valore coincide con il rapporto di sfruttamento a flessione η_1 .

max η assoluto in fase 1

Derivante dall'interazione N/M/V (EN1993-1-5, 7.1.(1)) per la sola fase 1, quindi con la sola trave in acciaio reagente; si rende necessaria in quanto la trave, senza il contributo resistente della soletta, è in classe 4 e risulta, in fase 1, precaricata.

max η_1/η_1

Rapporto di sfruttamento a flessione; nell'ambito delle condizioni di applicabilità dell'analisi plastica, esso coincide con il rapporto $\eta_1 = M_{Ed}/M_{pl}$ (rapporto di sfruttamento plastico); in tutti gli altri casi è pari a $\eta_1 = \sigma_{Ed}/(\gamma_{mo}f_{yk})$. I rapporti di sfruttamento a flessione, risp. elastici e plastici vengono tracciati indipendentemente dal campo di applicabilità; in ogni caso, il valore considerato nel calcolo del rapporto di sfruttamento assoluto considera di volta in volta il rapp. elastico/plastico in funzione degli effettivi limiti di applicabilità.

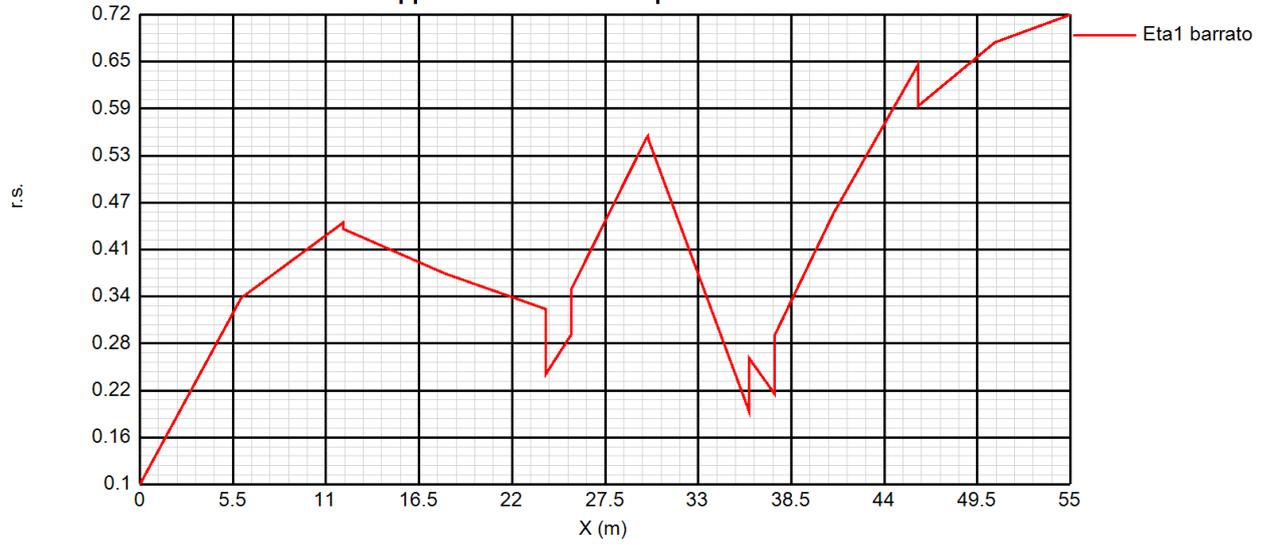
max η_3 (*)

Rapporto di sfruttamento a taglio $\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd}$

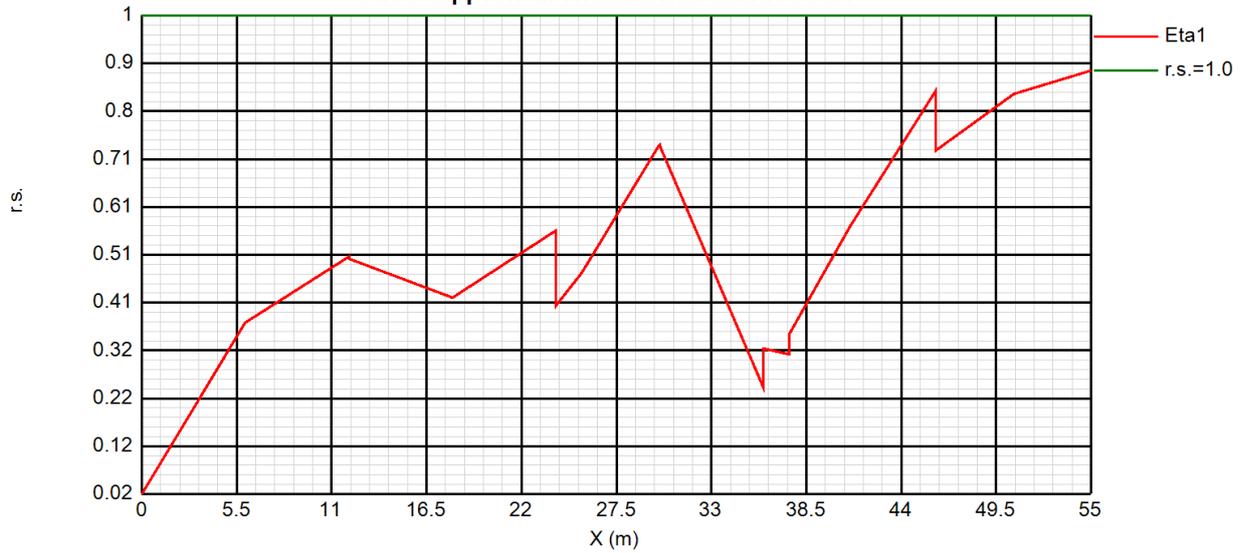
(*) Si riporta il calcolo del rapporto di sfruttamento a taglio, nella condizione più gravosa, corrispondente a "non rigid" end post. Nella condizione "rigid" end post si hanno infatti coefficienti di sfruttamento inferiori.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

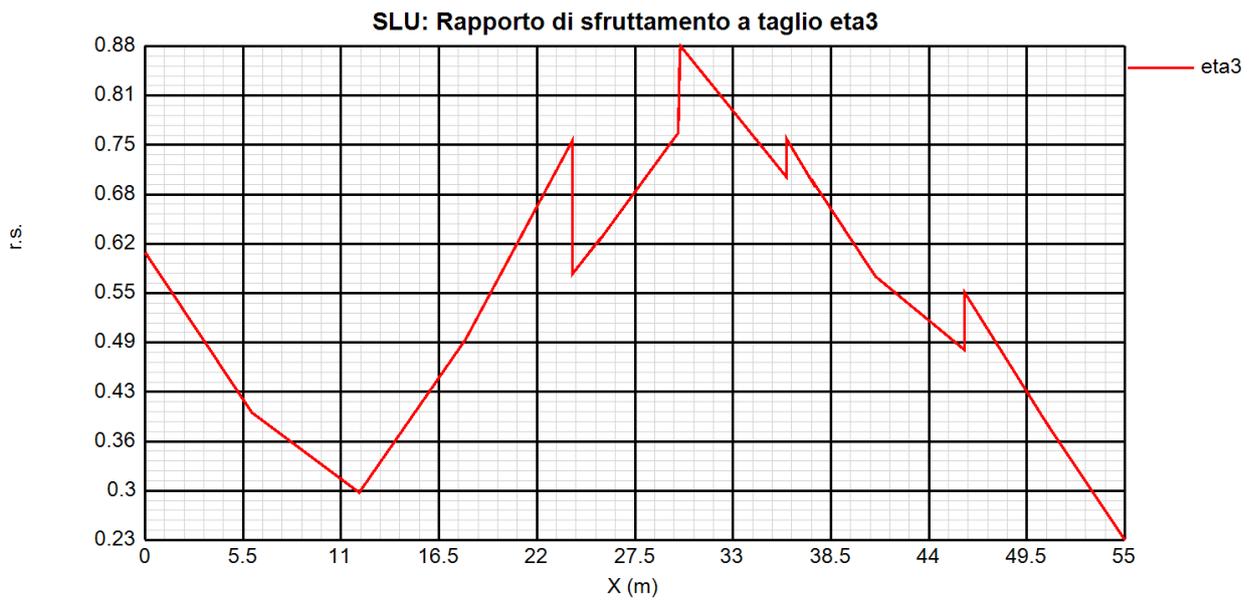
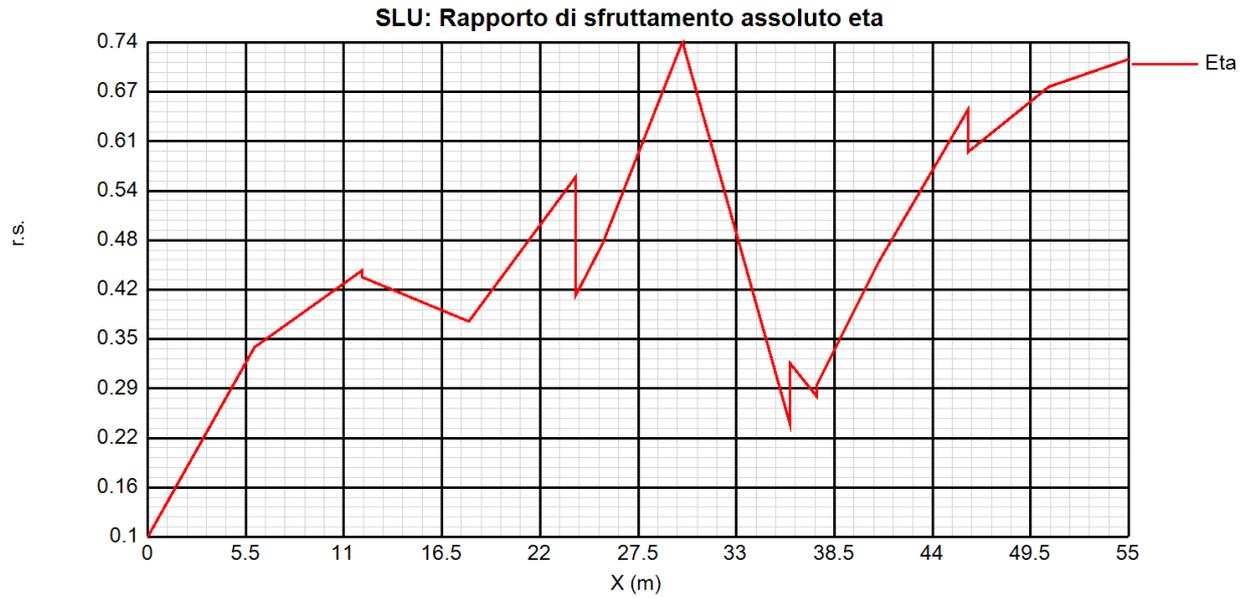
SLU: Rapporto di sfruttamento plastico eta1 barrato



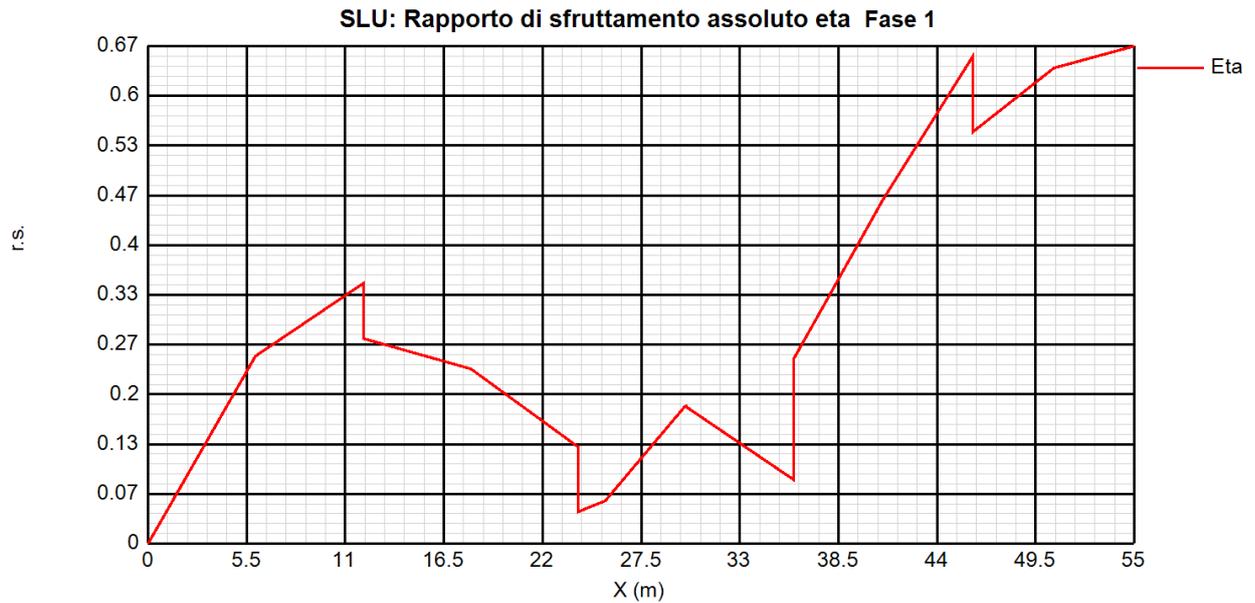
SLU: Rapporto di sfruttamento elastico eta1



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



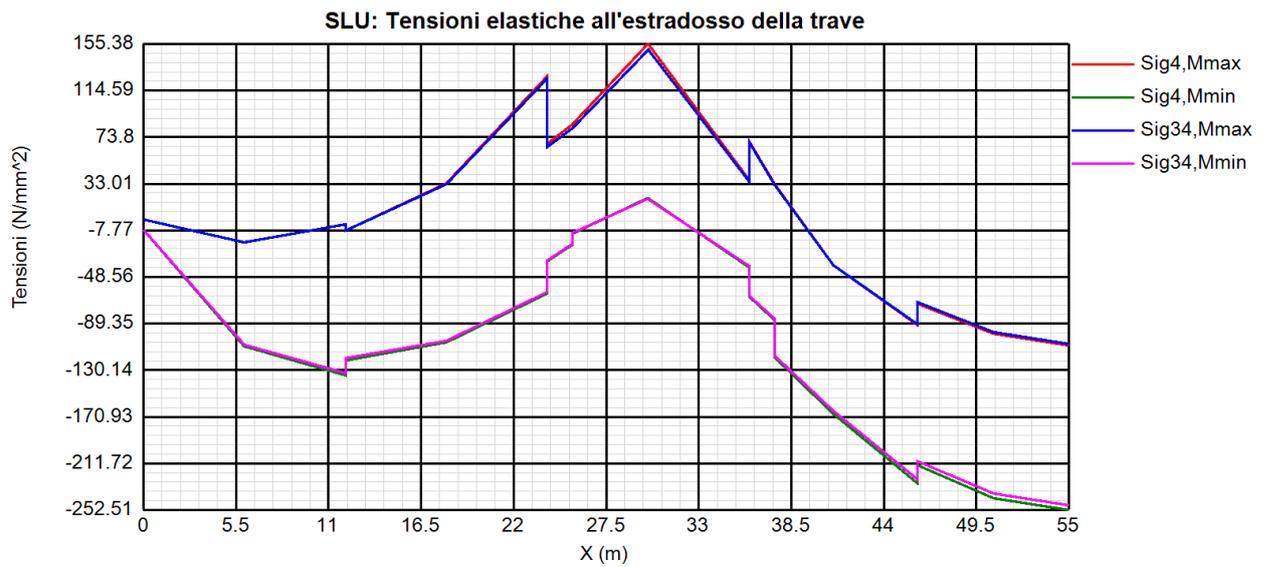
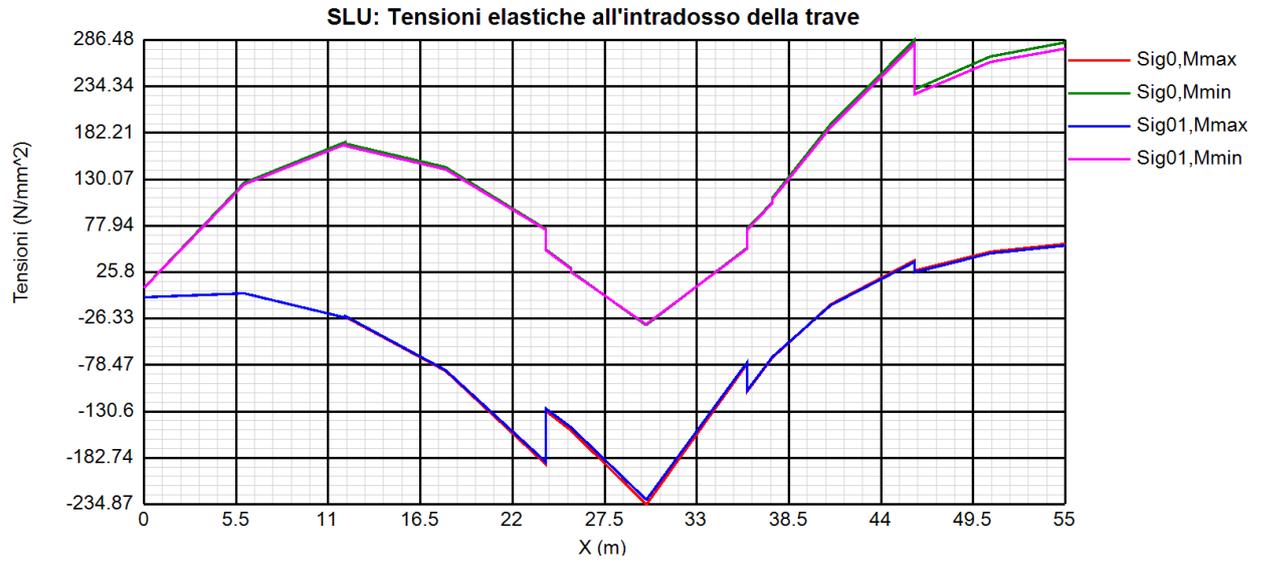
RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



Come si nota, i rapporti di sfruttamento rilevati risultano in tutti i casi soddisfacentemente al di sotto dell'unità.

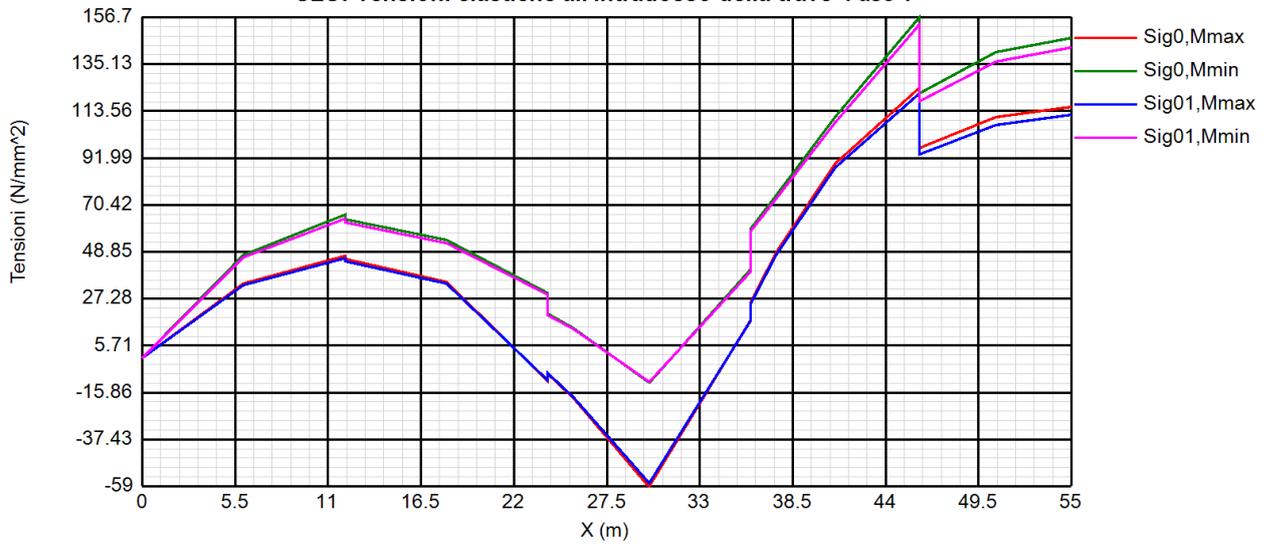
Si riportano anche i diagrammi relativi alle tensioni S.L.U. complessive e alle tensioni S.L.U. al termine della fase 1, rilevate sulla piattabanda inferiore e superiore della trave (valori in MPa).

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

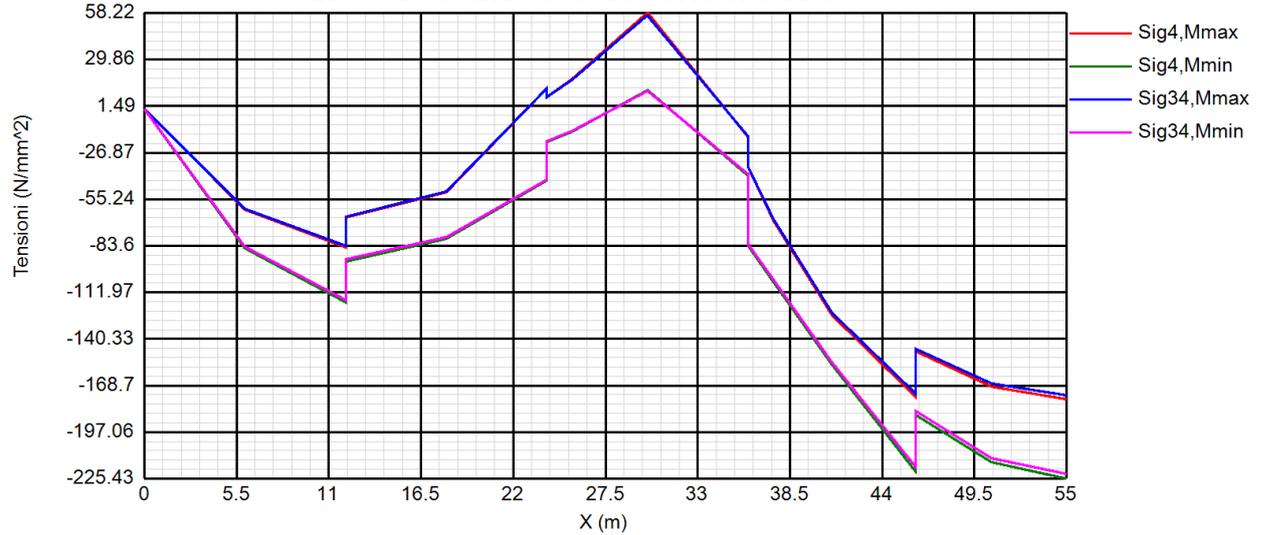


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

SLU: Tensioni elastiche all'intradosso della trave Fase 1

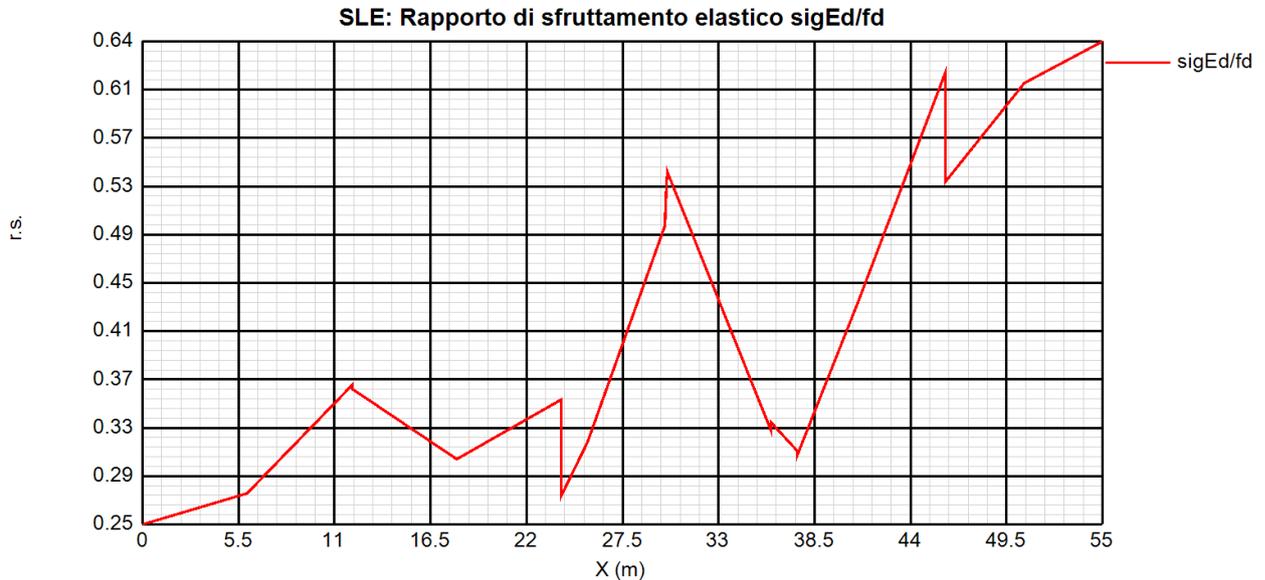


SLU: Tensioni elastiche all'estradosso della trave Fase 1



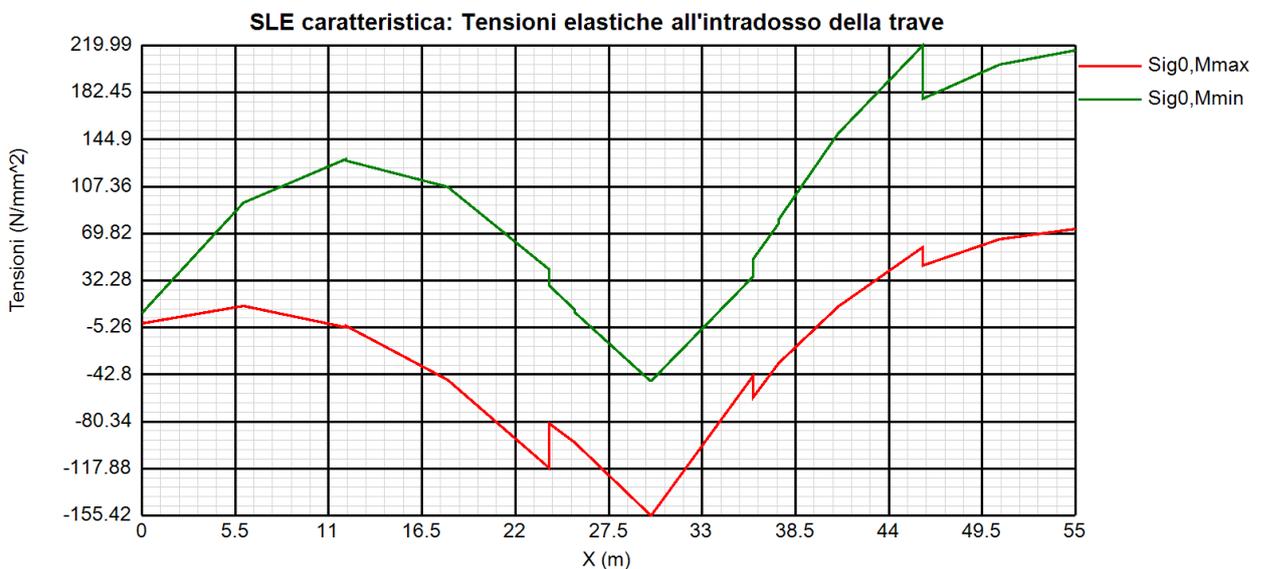
7.1.2 S.L.E. - limitazione delle tensioni – rapporti di sfruttamento

Di seguito si riporta l'andamento del rapporto di sfruttamento S.L.E. tra tensione di Von Mises e tensione di riferimento.

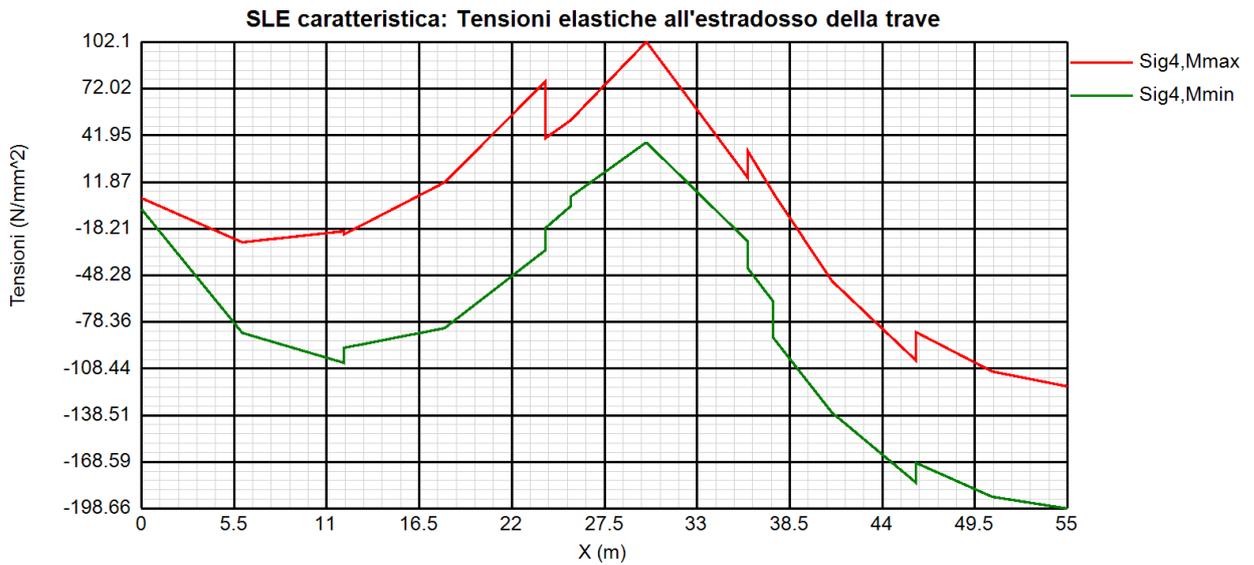


Come si può notare dall'esame del diagramma, i rapporti di sfruttamento S.L.E. appaiono soddisfacentemente al di sotto dell'unità.

Si riportano anche in questo caso i diagrammi relativi alle tensioni all'intradosso ed estradosso della trave. (MPa).

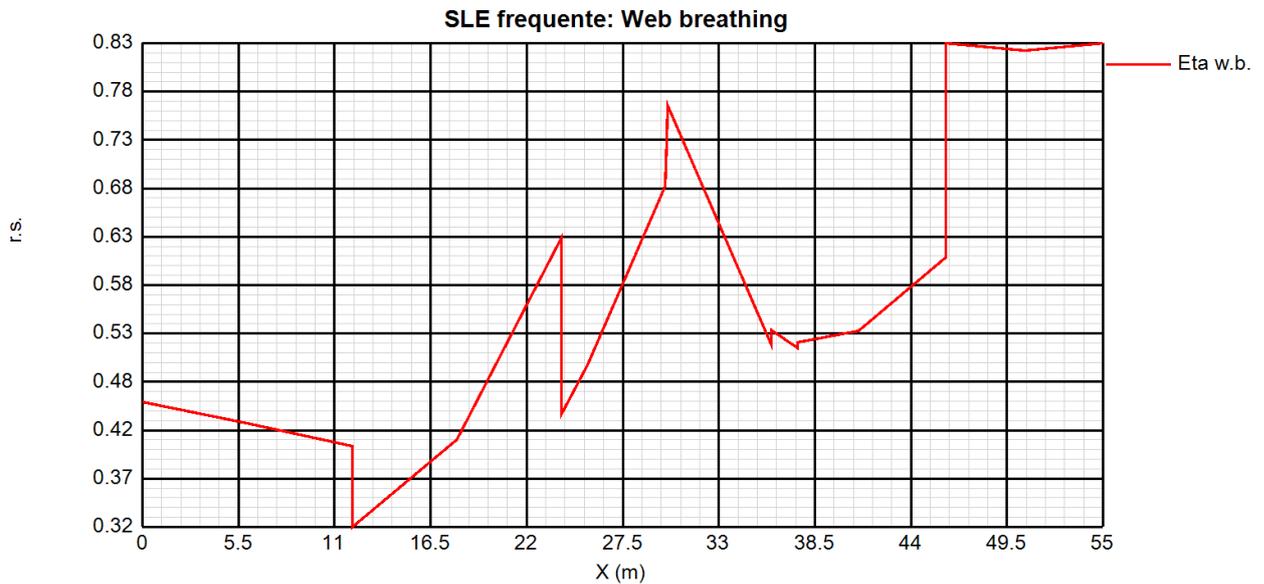


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



7.1.3 S.L.E. frequente- "web breathing" – rapporti di sfruttamento

Relativamente alla verifica di Web Breathing, i diagrammi seguenti riportano l'andamento del rapporto di sfruttamento.



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

7.1.4 Verifiche a fatica – calcolo $\Delta\sigma_E$

Per la determinazione dei coefficienti λ per il calcolo delle tensioni equivalenti, si sono adottate le ipotesi riassunte in tabella.

<i>Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:</i>	
Metodo di verifica:	Safe life
Conseguenza del danno:	High consequence
γ_{FF}	1
γ_{MF}	1.35
<i>Fattore equivalente di danno per flessione e taglio:</i>	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4$
<i>Dati per il calcolo di λ_1</i>	
Campata	
Luce per il momento (m):	Luce della campata
Luce per il taglio (m):	0.4*Luce della campata
Appoggi:	
Luce per il momento (m):	Media delle luci adiacenti
Luce per il taglio (m):	Luce della campata considerata
<i>Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}</i>	
Q_0 (kN)	480
N_0	500000
N_{obs}	500000
Q_{ml} (kN)	457.37
Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2):	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
λ_2	0.928
<i>Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}</i>	
Vita di progetto in anni:	100
λ_3	1.00
<i>Fattore equivalente di danno per i pioli:</i>	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4}$
<i>Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:</i>	
γ_{FF}	1
γ_{MF}	1.15

Per la verifica a fatica dei **dettagli di carpenteria**, si prendono in esame i dettagli di seguito elencati unitamente alla categoria/num. dettaglio dedotti dalle rispettive tabelle di EN 1993-1-9:

Piattabande - tensioni normali	categoria/dettaglio:	125/5	tab. 8.1 EN 1993-1-9
Anima - tensioni tangenziali	categoria/dettaglio:	100/6	tab. 8.1 EN 1993-1-9
Saldatura composizione anima-piatt.	categoria/dettaglio:	112/3	tab. 8.2 EN 1993-1-9
Saldatura di testa piatt inf. e sup.	categoria/dettaglio:	112/4(*)	tab. 8.3 EN 1993-1-9
Attacco irr. vert. - piattabande	categoria/dettaglio:	80/6(**)	tab. 8.4 EN 1993-1-9
Attacco irr. vert. - anima	categoria/dettaglio:	80/7(**)	tab. 8.4 EN 1993-1-9

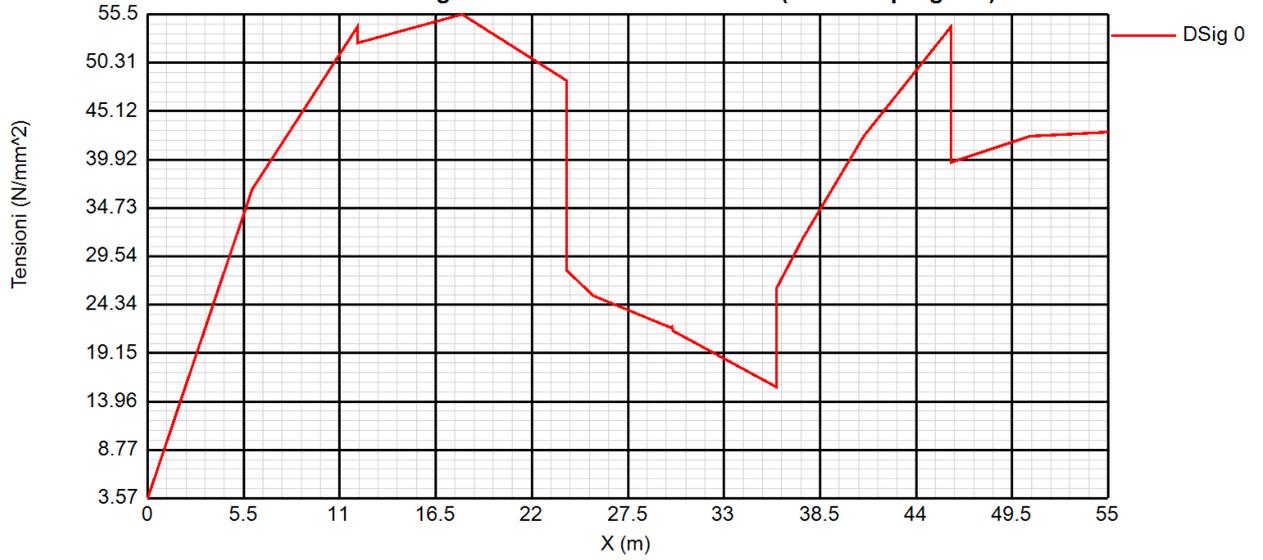
(*) si conteggia il size effect $k_s = (25/t)^{0.2}$

(**) $t < 50$ mm in tutti i casi

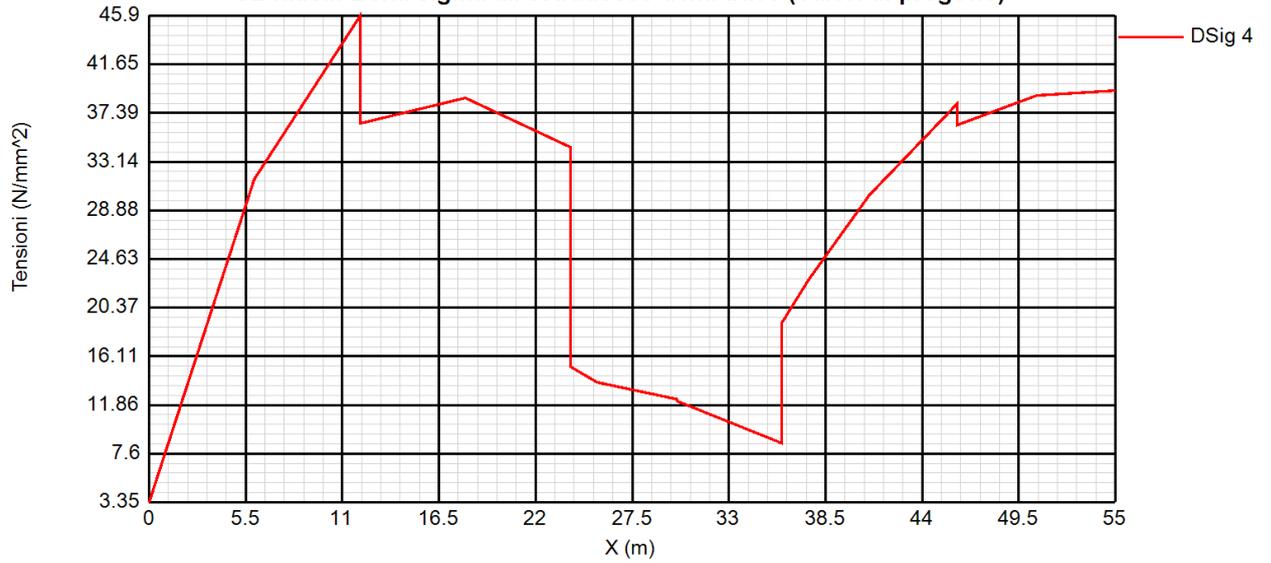
Di seguito si riporta l'ampiezza di $\Delta\sigma_E$ rilevati in corrispondenza della piattabanda inferiore e superiore e dell'attacco anima/piattabanda inferiore e superiore di ciascun concio.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

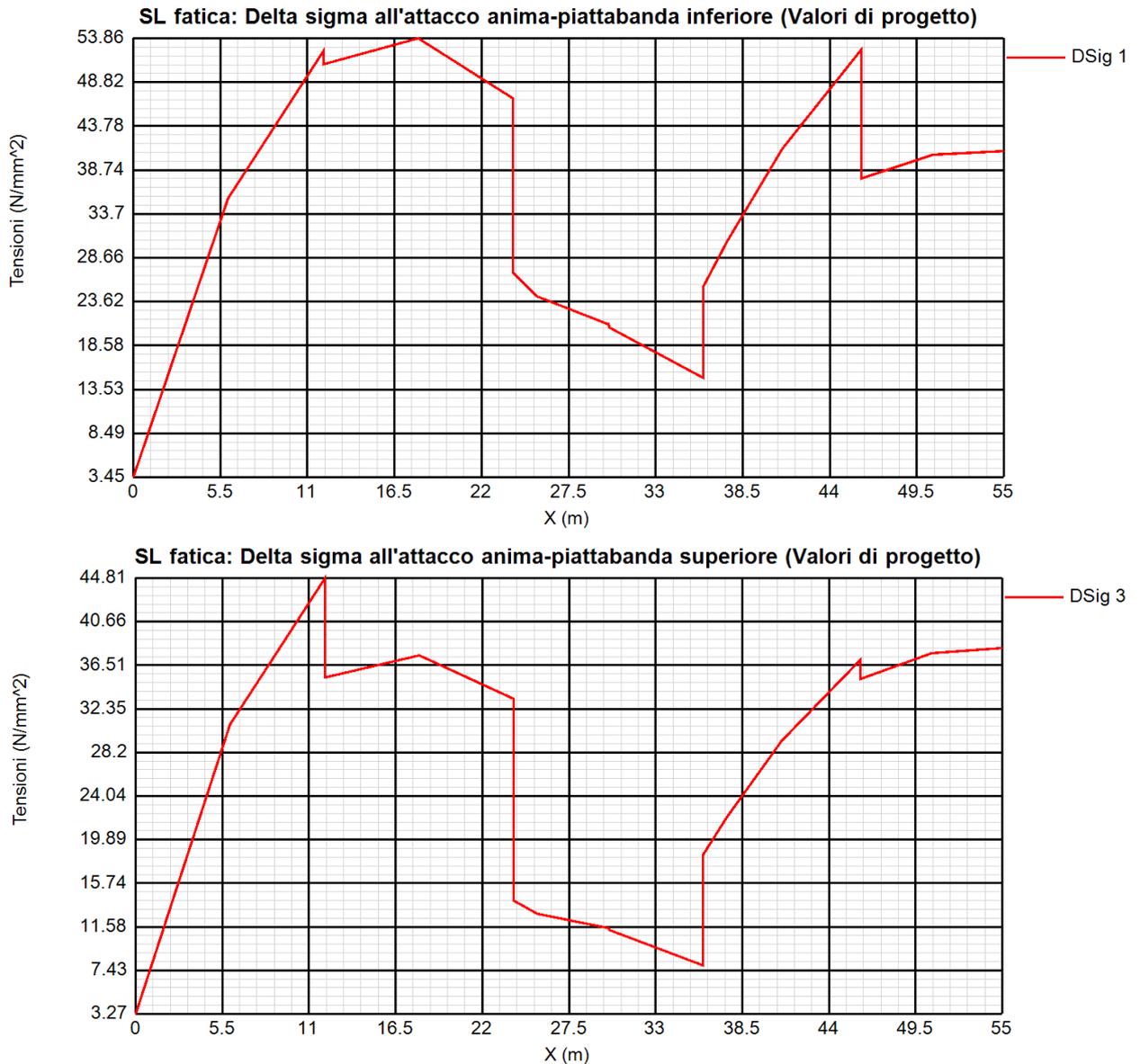
SL fatica: Delta sigma all'intradosso della trave (Valori di progetto)



SL fatica: Delta sigma all'estradosso della trave (Valori di progetto)



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



Si esplicita pertanto, a titolo di esempio, la verifica del dettaglio più critico, rappresentato dalla saldatura piattabanda/irrigidente (cat. 80), sulla sezione maggiormente critica, caratterizzata da $\gamma_f \Delta \sigma_E = 53.86$ MPa (concio 2, Sez. 5).

- $\gamma_f \Delta \sigma_E = 55.5$ MPa su piattabanda inferiore
 - $\gamma_f \Delta \sigma_E = 53.86$ MPa su attacco anima piattabanda inferiore
 - $\Delta \sigma_{Rs} / \gamma_m = 80 / 1.35 = 59.26$ MPa
- Le verifiche risultano pertanto positive.

7.1.5 Verifica connessione trave/soletta

7.1.5.1 Caratteristiche piolatura e detailing

Il sistema di connessione trave/soletta è formato da pioli tipo Nelson elettrosaldati, di diametro ϕ 19 mm ed altezza pari a 220 mm, come dettagliato in tabella.

Concio	Pioli	
	n pioli (lm)	
C1	20*	4 ϕ 19/20, h=220 mm
C2	20	4 ϕ 19/20, h=220 mm
C3	20	4 ϕ 19/20, h=220 mm
C4	20	4 ϕ 19/20, h=220 mm
C5	15	3 ϕ 19/20, h=220 mm

(*) Pioli di estremità, da retrotrave x 6 m, 35 pioli/m (4 ϕ 19/20+3 ϕ 19/20, h=220 mm)

Tabella 7.1 Organizzazione piolature

Per il singolo pioli, i valori di riferimento nell'ambito delle verifiche S.L.U. e S.L.E. sono pertanto i seguenti:

$$P_{Rd,SLU} = 81.66 \text{ kN}$$

Ponendo $k_s = 0.60$, conformemente a quanto previsto dal N.A.D. di EN 1994-2 (cfr. Istruzioni della NTC-08) si ha

$$P_{Rd,SLE} = 0.6 * P_{Rd,SLU} = 49.00 \text{ kN}$$

7.1.5.2 Dettagli costruttivi

Con riferimento alle figure sottostanti, si riportano le varie verifiche dei dettagli costruttivi dei connettori.

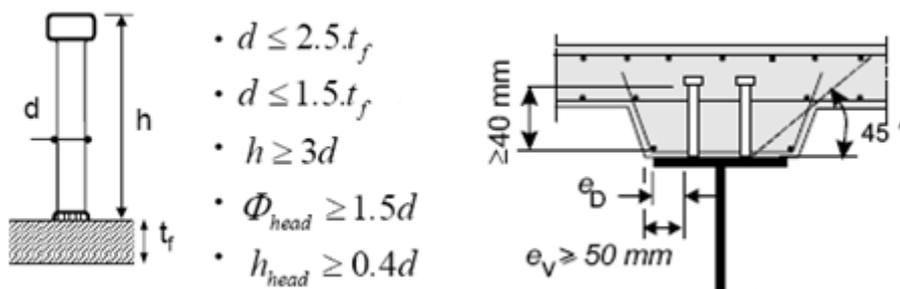


Figura 7.1: Dettagli dei pioli

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Dettagli per i pioli			
$\varepsilon =$	0.81		
$t_{f \text{ min}} =$	25 mm		
$h_{\text{ pioli}} =$	220 mm		
$d_{\text{ pioli}} =$	19 mm		
$t_{\text{ slab}} =$	300 mm		
$h_{\text{ min}} =$	57 mm (=3*d)		EN 1994-2 6.6.5.7 (1)
$\Phi_{\text{ head}} \geq$	28.5 mm (=1.5*d)		EN 1994-2 6.6.5.7 (2)
$h_{\text{ head}} \geq$	7.6 mm (= 0.4*d)		EN 1994-2 6.6.5.7 (2)
$d \leq$	37.5 mm (=1.5*t _{f min})		EN 1994-2 6.6.5.7 (3)
Spaziatura longitudinale e			
$e_{\text{ long}} \leq$	446 mm (= 22 * t _{f min} * ε)		EN1994-2 6.6.5.5 (2)
$e_{\text{ long}} \leq$	800 mm (= min { 4*t _{slab} , 800 mm })		EN1994-2 6.6.5.5 (3)
$e_{\text{ long}} \geq$	95 mm (= 5*d)		EN1994-2 6.6.5.7.(4)
Spaziatura trasversale			
$e_{\text{ trasv}} \geq$	47.5 mm (=2.5*d)		EN1994-2 6.6.5.7.(4)
Distanza pioli esterni - bordo flangia e_D			
$e_D \leq$	182 mm (= 9 * t _{f min} * ε)		EN1994-2 6.6.5.5 (2)

Tabella 7.2 Dettagli dei pioli

7.1.5.3 Riepilogo rapporti di sfruttamento verifica elastica S.L.U. - S.L.E. - fatica

Le verifiche vengono effettuate con il programma PontiEC4, su tutti i traversi della struttura.

Il calcolo dello scorrimento nelle varie sezioni di verifica ed il confronto con la piolatura di progetto viene effettuato in automatico dal programma PontiEC4 nell'ambito delle condizioni considerate ($M_{\text{max/min}}$ e $V_{\text{max/min}}$).

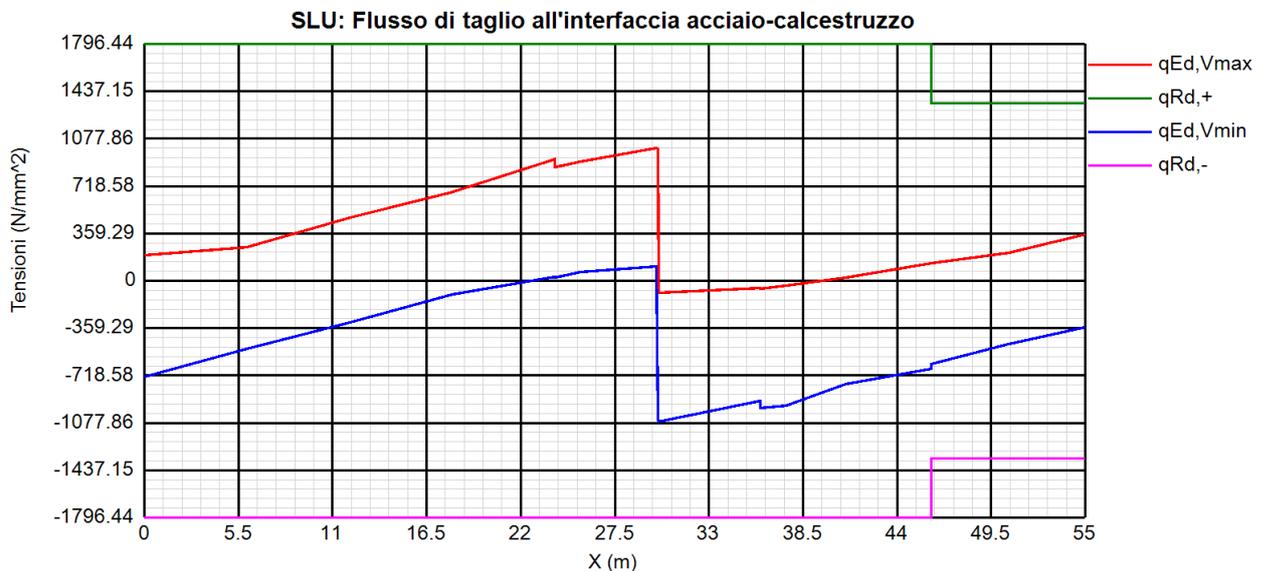
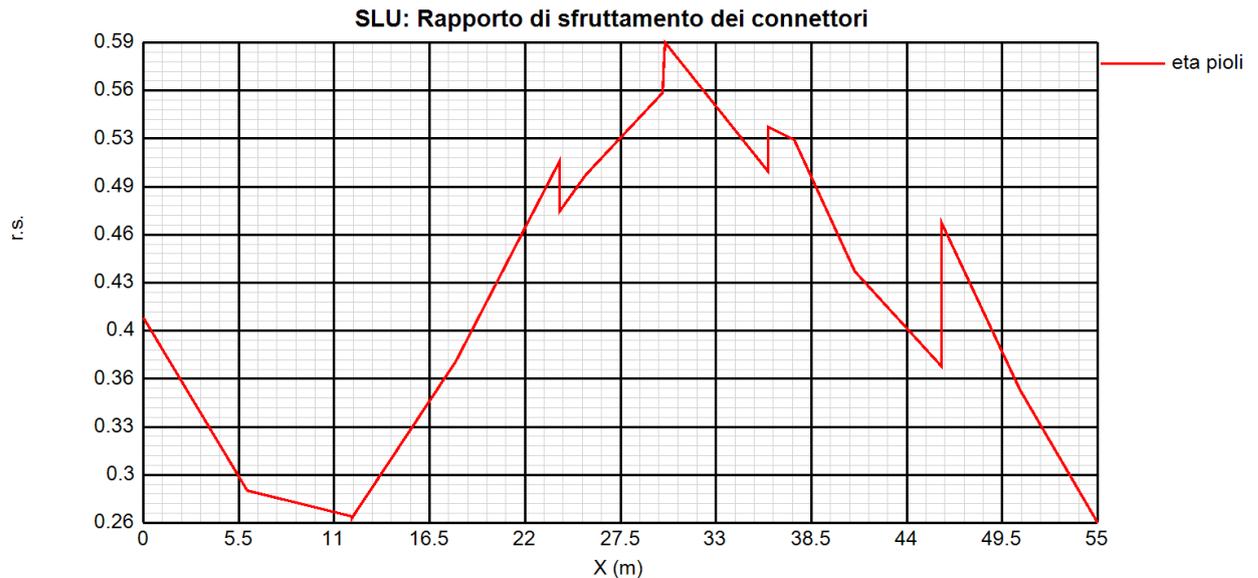
I diagrammi seguenti riportano, oltre alla copertura S.L.U. del flusso di taglio acciaio calcestruzzo, l'andamento del rapporto di sfruttamento dei connettori allo S.L.U., S.L.E. e S.L.F.; in quest'ultimo caso, il rapporto di sfruttamento indicato è il maggiore relativo alle varie modalità di collasso.

Per la determinazione dei coefficienti λ_v per il calcolo delle tensioni equivalenti a fatica, si sono adottate le ipotesi riassunte in tabella.

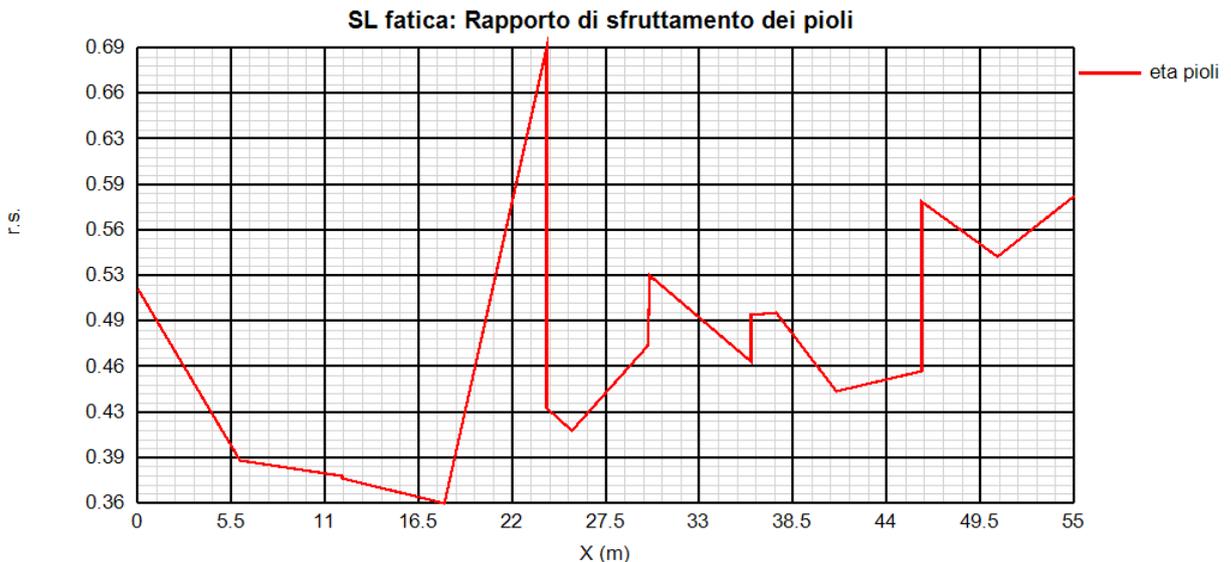
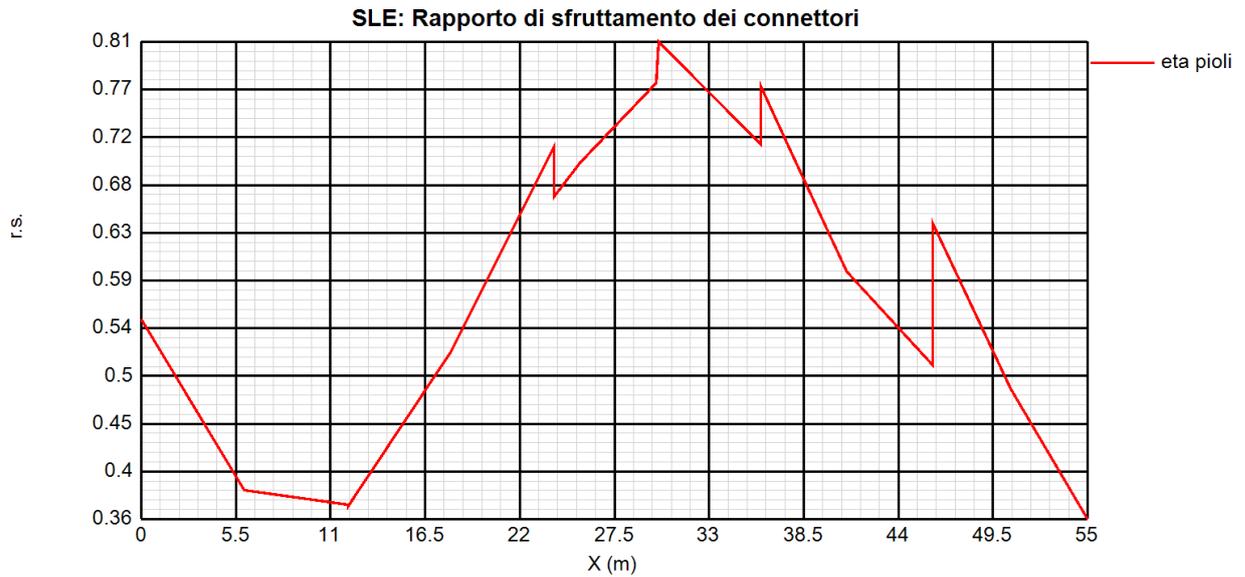
<i>Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:</i>	
<i>Fattore equivalente di danno per i pioli:</i>	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4}$
λ_{v1}	1.55
<i>Dati per il calcolo di λ_{v2}, λ_{v2}</i>	
Q_0 (kN)	480
N_0	500000
N_{obs}	500000
Q_{ml} (kN)	457.37

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2):	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
λ_{v2}	0.953
<i>Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}</i>	
Vita di progetto in anni:	100
λ_{v3}	1.00
<i>Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:</i>	
γ_{F1}	1
γ_{M1}	1.15



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



7.1.5.4 Verifica dei pioli di estremità - influenza di ritiro e variazione termica - (SLU)

Si riporta il calcolo del numero minimo dei pioli da disporre alle estremità delle travi, per una lunghezza pari ad almeno $b_{eff} = 4.7$ m, per assorbire gli sforzi di scorrimento prodotti dalle azioni di Ritiro e di Variazione termica.

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$, (N)	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$, (N)	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2})$, (N)	81656.28
Flusso caratteristico per Ritiro: $v_{L,k}$ (N/mm)	839

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Flusso caratteristico per Variazione termica (-): $v_{L,k}$ (N/mm)	807
Flusso di progetto totale: $v_{L,Ed}$ (N/mm)	$1.2 \cdot 839 + 1.5 \cdot 807 = 2218$
Numero minimo di pioli in testata: n_{min} (m ⁻¹)	$2218 \cdot 1000 / 81656.28 = 27.17$

7.1.6 Stabilità laterale – torsionale delle travi principali

Le verifiche nei confronti dell'instabilità flessione torsionale della piattabanda inferiore viene effettuata mediante un modello semplificato, in cui si sono modellati tutti i telai trasversali formati dai traversi, dal sistema di irrigidenti ai quali sono collegati e da una porzione di anima collaborante. Tutti i telai sono incastrati superiormente all'intradosso della soletta.

Inoltre si è modellata la piattabanda inferiore di entrambe le travate, vincolandola verticalmente per simulare la presenza dell'anima.

Questo modello è quindi in grado di cogliere il Lateral Torsional Buckling della piattabanda compressa. Si riporta un rendering del modello fem e dei relativi vincoli.

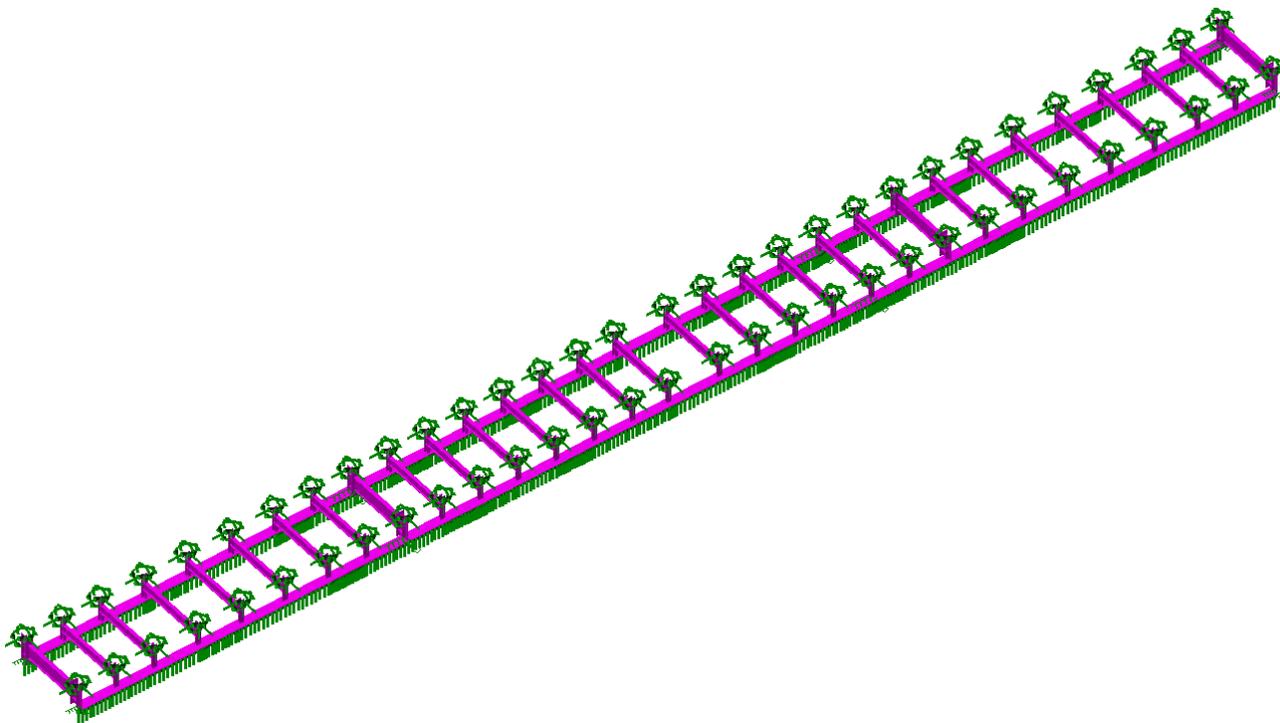


Figura 7.2: Rendering del modello fem

Geometric Key
Analysis: Fase3

	Traversi_campata (HE 800 A)
	Traversi_appoggio (I D=1.3 B=0.35 tf=0.04 tw=0.03 r=0)
	Ritti_traversi_appoggi (Ritti_Traversi_Appoggi R180)
	Ritti_traversi_campata (I D=0.274 Bt=0.46 Bb=0.2 tft=0.018 tfb=0.016 tw=0.02 r=0)
	C1_BotFlange (RSS D=0.9 B=0.04)
	C2_BotFlange (RSS D=0.9 B=0.04)
	C3_BotFlange (RSS D=0.9 B=0.06)
	C4_BotFlange (RSS D=0.9 B=0.04)
	C5_BotFlange (RSS D=0.9 B=0.055)

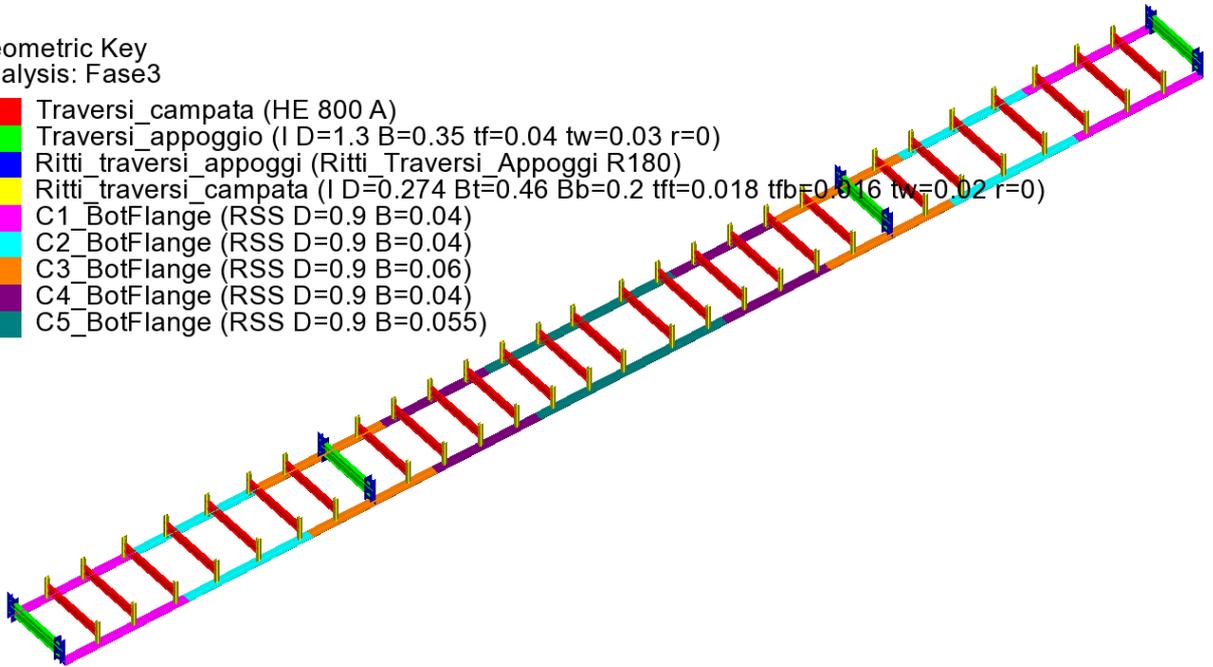


Figura 7.3: Caratteristiche geometriche del modello

Quadro tensionale di riferimento della piattabanda

Il quadro tensionale prescelto come riferimento per la verifica della sicurezza nei confronti dell'instabilità è riferito ad una condizione "reale" (ovviamente non ad un involucro), che fornisce le massime tensioni di compressione in corrispondenza della piattabanda inferiore. Si è presa come riferimento la sezione C4 cracked 12 (X=40 m) in asse alla pila 10 in cui si registrano le tensioni massime di compressione.

La deduzione delle tensioni lungo la piattabanda inferiore viene effettuata sulla base delle caratteristiche efficaci delle sezioni soggette a local buckling, e della eventuale plasticizzazione subita, sotto la combinazione in esame, dalle sezioni in classe 1 e 2. Nel grafico che segue se ne riporta l'andamento.

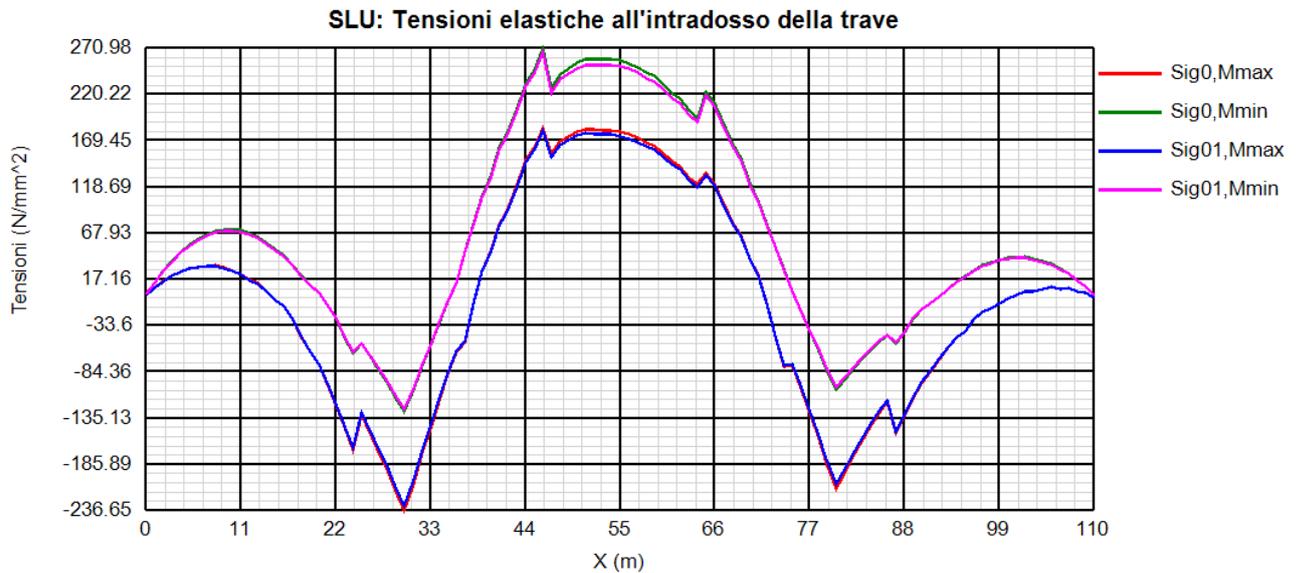


Figura 7.4: Tensioni minima e massima nella piattabanda inferiore, all'intradosso e nella fibra media della piattabanda inferiore .

Calcolo P_{cr} piattabanda inferiore

Viene effettuata una analisi di buckling mediante un modello E.F. che riproduce il filo della piattabanda inferiore. La mesh adottata rispecchia quella adottata per le travi principali del modello globale. La presenza dei traversi viene schematizzata mediante molle orizzontali di rigidezza pari a quella dedotta poco sopra.

Risultati dell'analisi di Buckling della piattabanda inferiore della singola travata:

	Mode ▲	Eigenvalue	Load Factor	Error norm
1	1	0.969468	32.7527	0.474807E-3
2	2	0.972826	36.7996	31.1893E-6
3	3	0.974242	38.8226	1.86518E-6
4	4	0.977132	43.7291	0.10919E-6
5	5	0.982144	56.0028	71.3878E-6

Tabella 7.3 Parametri stabilità colonna equivalente

Scale: 1: 307.515
Zoom: 105.825
Eye: (-0.443303, -0.582095, 0.681651)
Eigenvalue analysis
Analysis: Fase3
Loadcase: 2:Inst_Pinf_buckling, 2:Mode 1 Load Factor = 32.7527
Results file: Margi_impalcato_Pinf~Fase3.mys
Eigenvalue: 0.969468
Load factor: 32.7527
Amplification factor: 1.03149
Error norm: 0.474807E-3
Maximum displacement 1.00032 at node 102
Deformation exaggeration: 1.84449

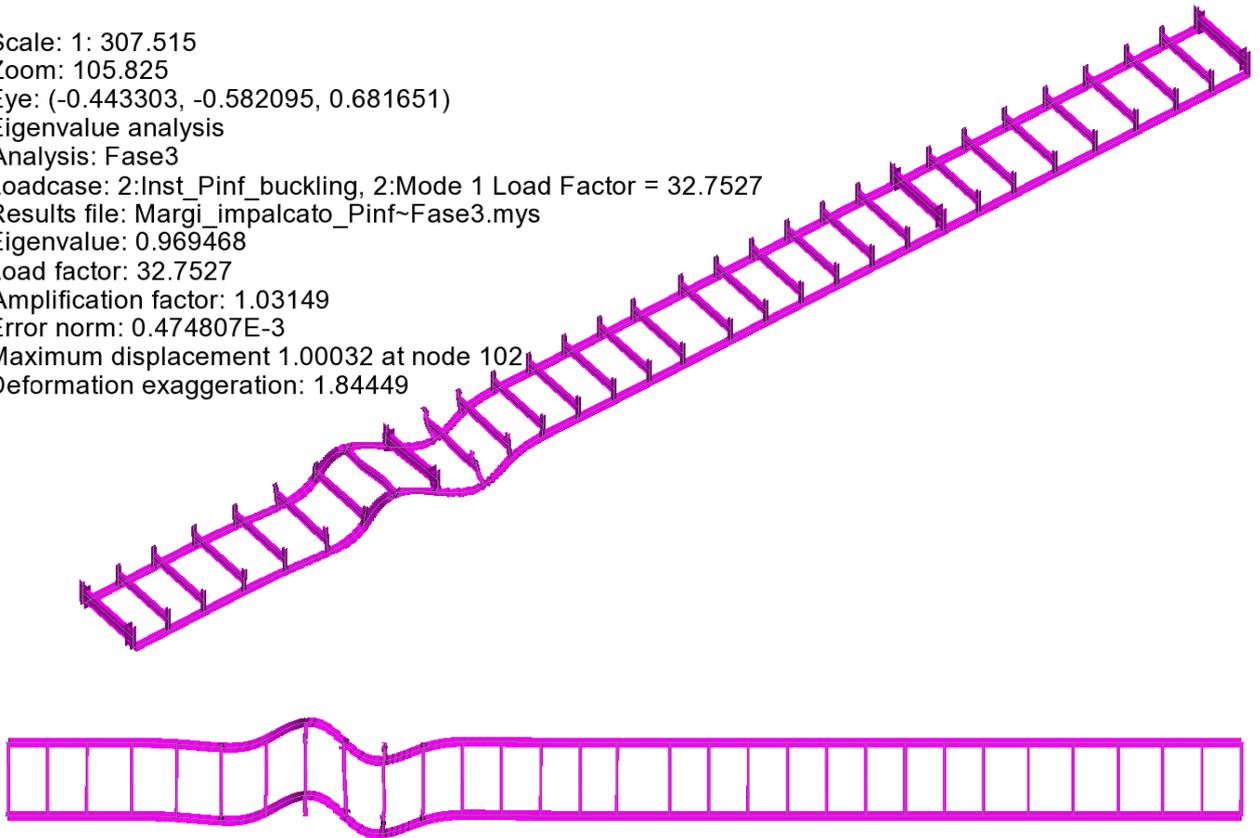


Figura 7.5: Deformata critica di Buckling – coeff. Moltiplicativo del carico 24.76

Verifica di stabilità flessa torsionale

La snellezza adimensionale viene valutata secondo i criteri di EN 1993-1-1, par. 6.3.4 (2) con la formula:

$$\lambda_{0p} = (\alpha_{ult,k}/\alpha_{cr,op})^{0.5} \leq 1.0$$

essendo:

$\alpha_{ult,k}$ = minimo moltiplicatore per il raggiungimento della tensione caratteristica a S.L.U. per tensioni normali

$\alpha_{cr,op}$ = minimo moltiplicatore di collasso dedotto dall'analisi di buckling

Il valore di $\alpha_{ult,k}$ viene posto pari all'inverso del massimo rapporto di sfruttamento rilevato lungo le sezioni considerate ai fini delle verifiche del concio D.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

η	0.740	Coeff. di utilizzo			
$\alpha_{ult,k}/\gamma_{M0}$	1.35	$=1/\eta$			
γ_{M0}	1.05				
$\alpha_{ult,k}$	1.419				
γ_{M1}	1.10				
$\alpha_{cr,op}$	32.76	fattore di buckling dedotto dal modello FEM della piattabanda inferiore			
λ_{op}	0.208	$=(\alpha_{ult,k}/\alpha_{cr,op})^{0.5}$			
χ_{op}	0.994	$=\min[\chi;\chi_{LT}]$			
χ	0.994	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0$			EN1993-1-1, 6.3.1.2
α	0.76	dalla Tabella 6.1 e 6.2 di EN 1993-1-1, profili saldati con $t_f > 40$			
Φ	0.525	$\Phi = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$			
χ_{LT}	0.994	$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0$			EN1993-1-1, 6.3.2.2
α_{LT}	0.76	dalla Tabella 6.3 e 6.4 di EN 1993-1-1, profili saldati con $h_w/b_{fl} > 2$			
Φ_{LT}	0.525	$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$			
$\chi_{op} * \alpha_{ult,k}/\gamma_{M1}$	1.282	>	1	Verifica soddisfatta	EN1993-1-1, 6.3.4(2)

Tabella 7.4 Verifica di stabilità laterale torsionale

7.1.7 Verifica del sistema di irrigidimento

Come accennato in premessa, il sistema di irrigidimento d'anima si compone di:

- Irrigidenti verticali intermedi
- Irrigidenti verticali d'appoggio

Le verifiche "standard" degli stiffeners vengono effettuate secondo in criteri di EN 1993-3-5, cap. 9.

Vengono effettuate le seguenti verifiche (*):

- 1) Verifica requisiti di rigidezza (EN 1993-1-5. cap. 9.3.3.(2))

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- 2) Verifica di resistenza (S.L.U.) (EN 1993.1.5., cap. 9.2.1)

In un capitolo separato viene inoltre valutato il comportamento degli irrigidenti sotto l'azione delle azioni instabilizzanti indotte dalla piattabanda inferiore.

Le verifiche vengono effettuate in automatico dal programma Ponti EC4, con riferimento all'effettivo quadro tensionale rilevato nelle varie sezioni, ed alle caratteristiche geometriche di riferimento.

(*) la verifica nei confronti del lateral torsional buckling non appare significativa, dal momento che gli irrigidenti risultano torsionalmente incastrati alla base, e vincolati dalla presenza del traverso intermedio.

Irrigidenti intermedi

Si prevede l'adozione di stiffeners a "T", formati da piatti 240x20 + 200x15.

La verifica dei requisiti di rigidezza viene effettuata per tutte le tipologie di concio.

Le tabelle seguenti riportano il calcolo dei vari parametri e l'esito della verifica.

Conci "C1"

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_W^3 t_W^3 / a^2 \quad a / h_W < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_W^3 t_W^3 \quad a / h_W \geq \sqrt{2}$$

$$I_{st} = 1.868E+8 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 9.776E+6 \text{ mm}^4$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$a = 4000 \text{ mm} \quad h_W = 2235 \text{ mm} \quad a/h_W = 1.79$$

$$t_W = 18 \text{ mm} \quad b_W = 459.4 \text{ mm}$$

$$A_{st} = 16268.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 88.6 \text{ mm}^2$$

Conci "C2"

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_W^3 t_W^3 / a^2 \quad a / h_W < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_W^3 t_W^3 \quad a / h_W \geq \sqrt{2}$$

$$I_{st} = 1.868E+8 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 9.754E+6 \text{ mm}^4$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$a = 4000 \text{ mm} \quad h_W = 2230 \text{ mm} \quad a/h_W = 1.794$$

$$t_W = 18 \text{ mm} \quad b_W = 459.4 \text{ mm}$$

$$A_{st} = 16268.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 88.6 \text{ mm}^2$$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Conci "C3"

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_W^3 t_W^3 / a^2 \quad a / h_W < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_W t_W^3 \quad a / h_W \geq \sqrt{2}$$

$$I_{ST} = 2.019E+8 \text{ mm}^4 > I_{ST \text{ min}} = 1.308E+7 \text{ mm}^4$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$a = 4000 \text{ mm} \quad h_W = 2180 \text{ mm} \quad a/h_W = 1.835$$

$$t_W = 20 \text{ mm} \quad b_W = 508.2 \text{ mm}$$

$$A_{ST} = 18163.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 79.8 \text{ mm}^2$$

Conci "C4"

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_W^3 t_W^3 / a^2 \quad a / h_W < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_W t_W^3 \quad a / h_W \geq \sqrt{2}$$

$$I_{ST} = 2.019E+8 \text{ mm}^4 > I_{ST \text{ min}} = 1.338E+7 \text{ mm}^4$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$a = 4000 \text{ mm} \quad h_W = 2230 \text{ mm} \quad a/h_W = 1.794$$

$$t_W = 20 \text{ mm} \quad b_W = 508.2 \text{ mm}$$

$$A_{ST} = 18163.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 79.8 \text{ mm}^2$$

Conci "C5"

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_W^3 t_W^3 / a^2 \quad a / h_W < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_W t_W^3 \quad a / h_W \geq \sqrt{2}$$

$$I_{ST} = 1.868E+8 \text{ mm}^4 > I_{ST \text{ min}} = 9.667E+6 \text{ mm}^4$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$a = 4000 \text{ mm} \quad h_W = 2210 \text{ mm} \quad a/h_W = 1.81$$

$$t_W = 18 \text{ mm} \quad b_W = 459.4 \text{ mm}$$

$$A_{ST} = 16268.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 88.6 \text{ mm}^2$$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Verifica resistenza

Si riporta l'esito della verifica effettuata per lo stiffener maggiormente impegnato, posto in corrispondenza della sezione C3-13 (combinazione Vmin).

Requisiti minimi per gli stiffeners trasversali

Tensione massima	Spostamento massimo
$\sigma_{max} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$	$w \leq \frac{h_w}{300}$
$\sigma_{max} = 54.3 < 322.7 \text{ N/mm}^2$	$w = 0.7 < 7.3 \text{ mm}$
VERIFICA SODDISFATTA	
$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 5.816E+5 + 8.919E+4 = 6.708E+5 \text{ N}$	
$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 5.816E+5 + 0E+00 = 5.816E+5 \text{ N}$	
$\sigma_m = 0.185 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr}(C)/\sigma_{cr}(P) = 0.018 \Rightarrow 0.5$	
$\sigma_{cr}(P) = 270.66 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr}(C) = 4.75 \text{ N/mm}^2$	
$N_{Ed} = 1.615E+6 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.401 \quad N_{cr,st} = 8.804E+7 \text{ N}$	
$e_1 = 79.8 \text{ mm} \quad e_{max} = 186.2 \text{ mm} \quad w_0 = 7.27 \text{ mm}$	
$\delta_m = 9.523$	

Irrigidenti d'appoggio

La verifica viene effettuata considerando, oltre alla funzione di stabilizzazione anima, ed il relativo impegno statico, anche la reazione verticale concentrata trasmessa dall'appoggio.

In questo caso, la tipologia del profilo di irrigidimento è caratterizzata da piatti 400x35 disposti simmetricamente rispetto all'anima della trave.

Per quanto riguarda le azioni esterne sollecitanti, si fa riferimento alle reazioni S.L.U. trasmesse agli appoggi per le quali, per ulteriori dettagli, si rimanda alla relazione di calcolo delle sottostrutture.

Si farà quindi riferimento ai seguenti valori:

$N_{Ed,S.L.U.,spalla} = -2960 \text{ kN}$

$N_{Ed,S.L.U.,pila} = -8036 \text{ kN}$

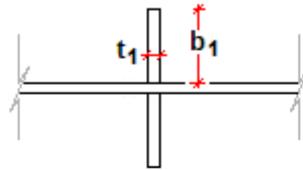
Di seguito l'output della verifica, relativo alla sezione d'appoggio lato spalla (concio C1) e pila (concio C3).

Irrigidenti di spalla

Caratteristiche

Si prevede l'adozione di un irrigidente simmetrico rettangolare formato da due piatti 400x35.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



Simmetrico

No stiffeners R L T

b (mm) t (mm)

Piatto 1

Requisiti di rigidezza

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_w^3 t_w^3 / a^2 \quad a / h_w < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_w t_w^3 \quad a / h_w \geq \sqrt{2}$$

$I_{st} = 1.597E+9 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 9.776E+6 \text{ mm}^4$

VERIFICA SODDISFATTA

$a = 4000 \text{ mm} \quad h_w = 2235 \text{ mm} \quad a/h_w = 1.79$

$t_w = 18 \text{ mm} \quad b_w = 474.4 \text{ mm}$

$A_{st} = 36538.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 0 \text{ mm}^2$

Requisiti di resistenza

Requisiti minimi per gli stiffeners trasversali

Tensione massima

Spostamento massimo

$$\sigma_{\max} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$w \leq \frac{h_w}{300}$$

$\sigma_{\max} = 86.7 < 322.7 \text{ N/mm}^2$

$w = 0 < 7.4 \text{ mm}$

VERIFICA SODDISFATTA

$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 2.96E+6 + 3.939E+3 = 2.964E+6 \text{ N}$

$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 2.96E+6 = 2.96E+6 \text{ N}$

$\sigma_m = 0.008 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr}(C)/\sigma_{cr}(P) = 0 \Rightarrow 0.5$

$\sigma_{cr}(P) = 1E+300 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr}(C) = 3.84 \text{ N/mm}^2$

$N_{Ed} = 6.957E+4 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.589 \quad N_{cr,st} = 6.625E+8 \text{ N}$

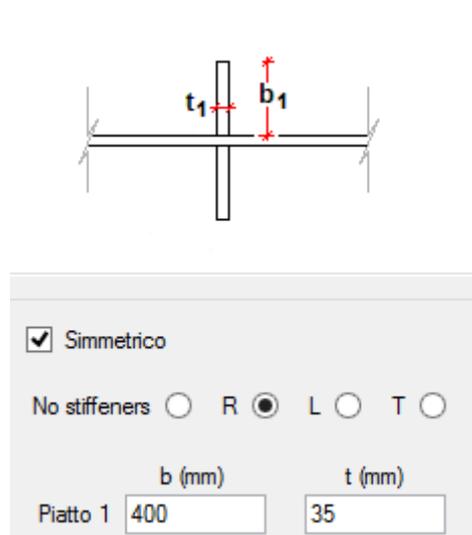
$e_1 = 0 \text{ mm} \quad e_{\max} = 409 \text{ mm} \quad w_0 = 7.45 \text{ mm}$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Irrigidenti di pila

Caratteristiche

Si prevede l'adozione di un irrigidente simmetrico rettangolare formato da due piatti 400x35.



Requisiti di rigidezza

Stiffeners verticali agenti come supporto rigido

$$I_{ST} \geq 1.5 h_w^3 t_w^3 / a^2 \quad a / h_w < \sqrt{2}$$

$$I_{ST} \geq 0.75 h_w t_w^3 \quad a / h_w \geq \sqrt{2}$$

$$I_{ST} = 1.608E+9 \text{ mm}^4 > I_{ST \text{ min}} = 1.308E+7 \text{ mm}^4$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$a = 4000 \text{ mm} \quad h_w = 2180 \text{ mm} \quad a/h_w = 1.835$$

$$t_w = 20 \text{ mm} \quad b_w = 523.2 \text{ mm}$$

$$A_{ST} = 38463.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 0 \text{ mm}^2$$

Requisiti di resistenza

Requisiti minimi per gli stiffeners trasversali

Tensione massima

$$\sigma_{\max} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\sigma_{\max} = 224 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

Spostamento massimo

$$w \leq \frac{h_w}{300}$$

$$w = 0.1 < 7.3 \text{ mm}$$

VERIFICA SODDISFATTA

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 8.036E+6 + 6.845E+3 = 8.043E+6 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 8.036E+6 = 8.036E+6 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.014 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr}(C)/\sigma_{cr}(P) = 0 > 0.5$$

$$\sigma_{cr}(P) = 1E+300 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr}(C) = 4.75 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Ed} = 1.24E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.401 \quad N_{cr,st} = 7.015E+8 \text{ N}$$

$$e_1 = 0 \text{ mm} \quad e_{\max} = 410 \text{ mm} \quad w_0 = 7.27 \text{ mm}$$

7.1.8 Verifica stabilizzazione della piattabanda inferiore

Gli irrigidenti verticali sono coinvolti nella funzione di stabilizzazione della piattabanda inferiore, essendo gli elementi "di montante" dei telai elementari cui la piattabanda risulta vincolata allo sbandamento trasversale.

Come meglio dettagliato ai cap. 7.1.6. e 4.3.6., le azioni di stabilizzazione sono implementate nel modello FEM come forze concentrate agenti in corrispondenza dell'estremo inferiore del montante, come mostrato nello screenshot seguente.

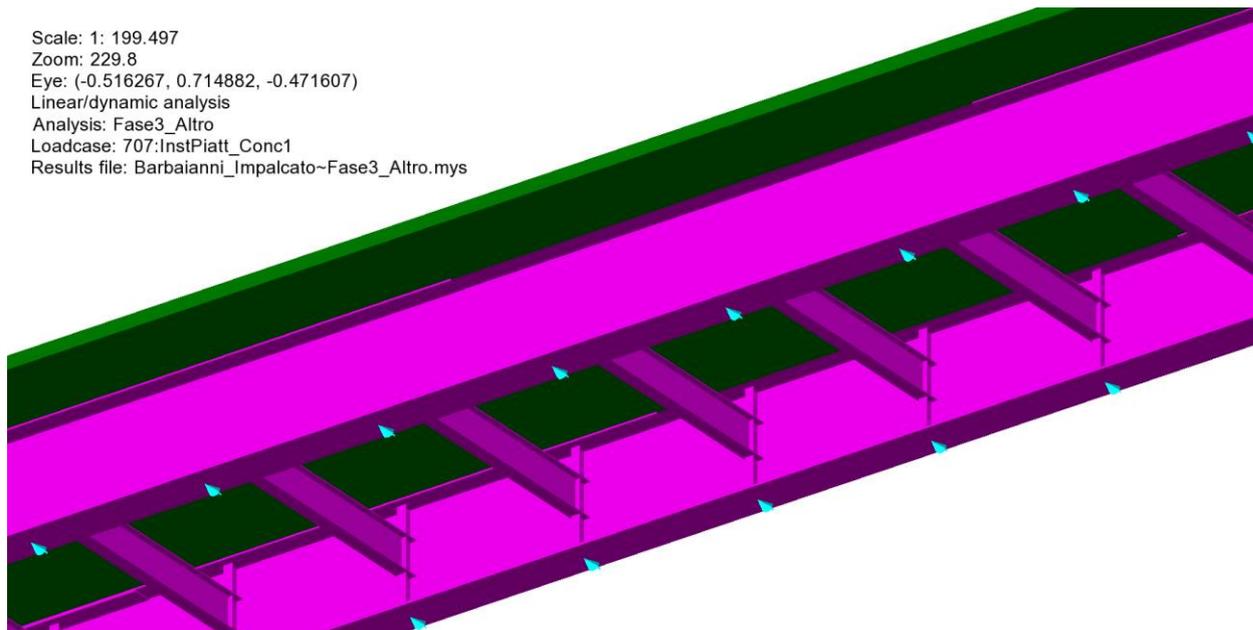


Figura 7.6 Azioni eq. stabilizzazione piattabanda

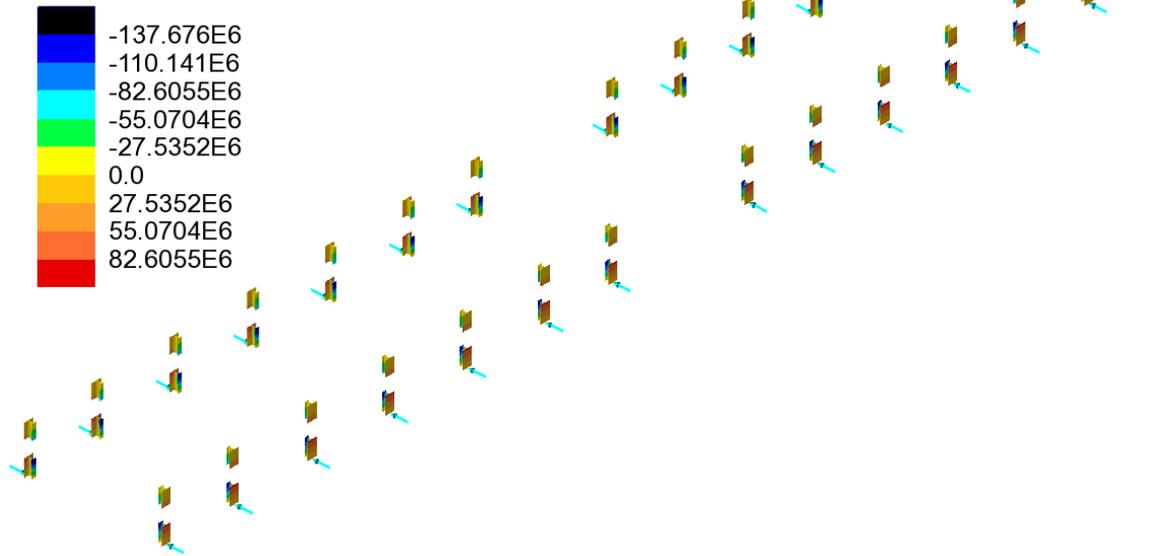
Le azioni equivalenti sono valutate con riferimento al metodo semplificato contemplato da EN1993-2, 6.3.4.2 (5) 1.

Per una visualizzazione qualitativa dei livelli tensionali presenti negli elementi di irrigidimento per effetto della stabilizzazione della piattabanda, di seguito vengono riportati i diagrammi "contour" delle tensioni normali rilevate sugli elementi di montante, rispettivamente per lo scenario di stabilizzazione "simmetrico" (azioni convergenti verso interno impalcato) e "antisimmetrico" (azioni di stabilizzazione concordi).

Stante la simmetria della struttura si riportano i valori dalla spalla1 fino a metà della seconda campata. Sono stati esclusi dalla visualizzazione gli elementi di nodo.

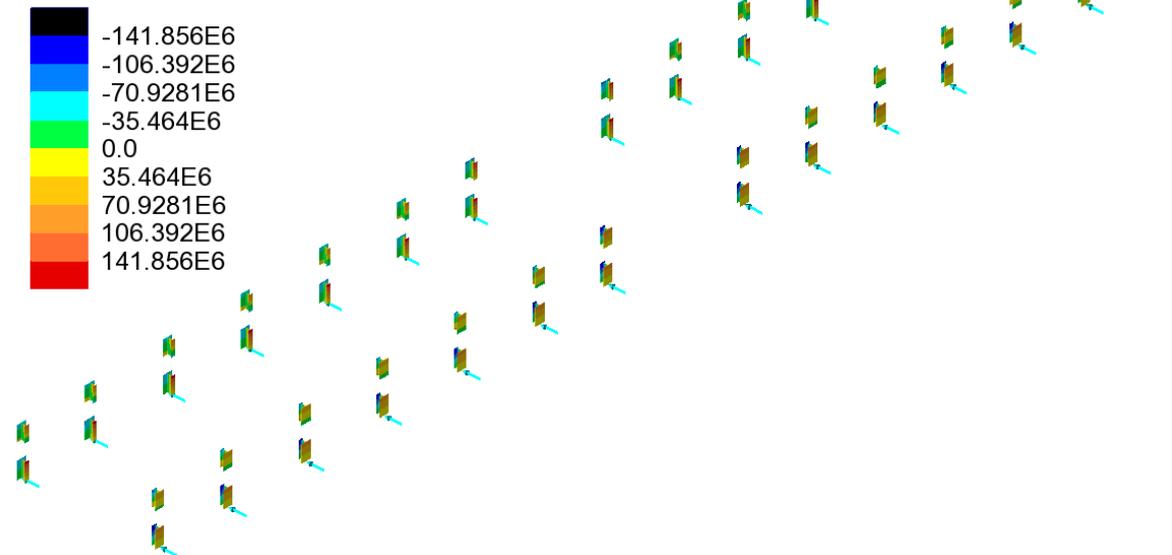
Scenario di stabilizzazione "simmetrico"

Analysis: Fase3
Loadcase: 69:InstPiatt_Disc1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Stress - Thick 3D Beam
Component: Sx(Fx, My, Mz) (Units: N/m²)



Scenario di stabilizzazione "antisimmetrico"

Analysis: Fase3
Loadcase: 67:InstPiatt_Conc1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Stress - Thick 3D Beam
Component: Sx(Fx, My, Mz) (Units: N/m²)

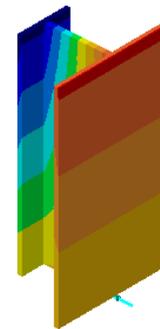
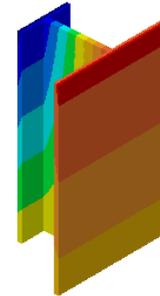
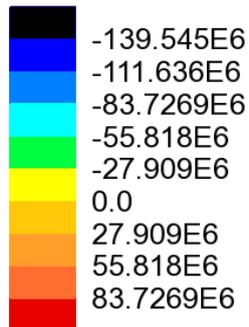


Gli elementi maggiormente sollecitati sono i montanti disposti in prossimità dell'appoggio di pila.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Qui di seguito si riportano le tensioni normali e tangenziali per la condizione di carico antisimmetrica rilevate sugli elementi del montante (modellato considerando l'appropriata porzione di anima collaborante, pari a $15 \varepsilon_{tw}$).

Analysis: Fase3
Loadcase: 67:InstPiatt_Conc1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Stress - Thick 3D Beam
Component: Sx(Fx, My, Mz) (Units: N/m²)



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Fase3
Loadcase: 67:InstPiatt_Conc1
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Tauz
■ 47.83E6
Maximum 47.83E6 at node 48 of element 61
Minimum 47.83E6 at node 48 of element 61



Si ottiene $\sigma = \sqrt{(\sigma_x^2 + 3 \tau_z^2)} = 163 \text{ N/mm}^2 < 355/1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$
La verifica risulta soddisfatta con ampio margine.

Qui di seguito le azioni interne "di trave" V_{Ed} e M_{Ed} (valori in N e Nm)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 13.0048

Zoom: 100.0

Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)

Linear/dynamic analysis

Analysis: Fase3

Loadcase: 67:InstPiatt_Conc1

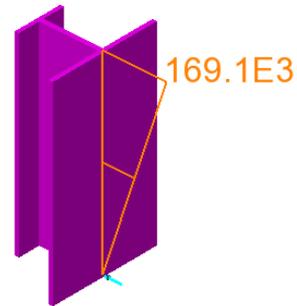
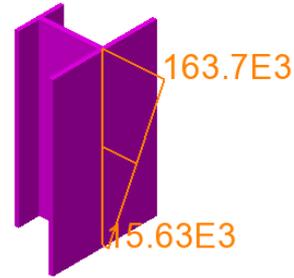
Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam

Diagram component: My (Units: N.m)

Diagram maximum 169.05E3 at node 187 of element 123

Diagram scale: 1: 0.118308E-3



Scale: 1: 13.0048

Zoom: 100.0

Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)

Linear/dynamic analysis

Analysis: Fase3

Loadcase: 67:InstPiatt_Conc1

Results file: Margi_impalcato_rev2~Fase3.mys

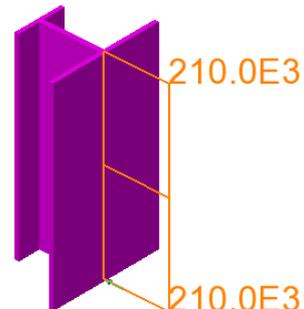
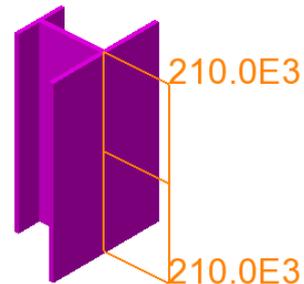
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam

Diagram component: Fz (Units: N)

Diagram maximum 210.0E3 at node 48 of element 61

Diagram minimum 210.0E3 at node 48 of element 61

Diagram scale: 1: 95.2381E-6



Sono stati esclusi dalla visualizzazione gli elementi di nodo.

8. VERIFICA TRAVERSI

8.1 TRAVERSI DI CAMPATA (CORRENTI)

I traverzi correnti sono costituiti da un profilo tipo HEA800.

Qui di seguito si riporta il quadro delle sollecitazioni insistenti sui traverzi dedotti dagli involuppo max/min M, max/min V per i seguenti S.L.:

S.L.U.

S.L.E. caratteristico

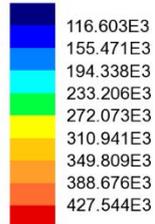
S.L.Fatica

Negli involuppi S.L.U. , si includono anche gli effetti inerenti la stabilizzazione della piattabanda inferiore, valutati secondo le modalità esposte in 4.3.6.

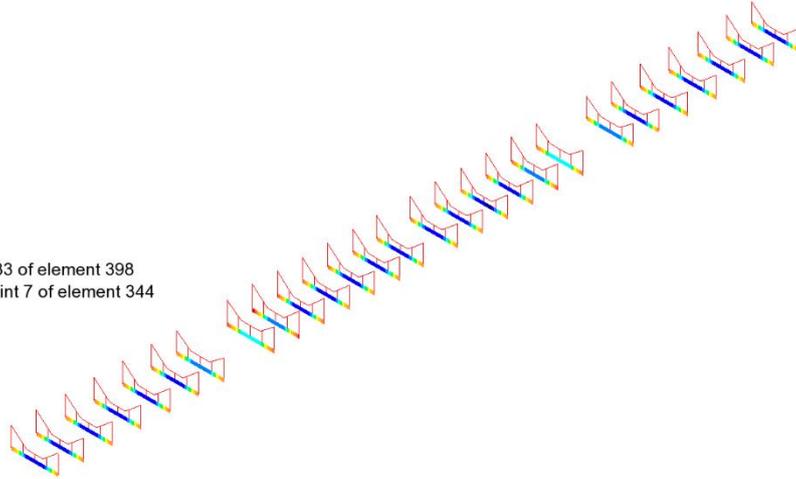
Si riportano i diagrammi.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: My
SLU_Fond_Traversi (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: My (Units: N.m)

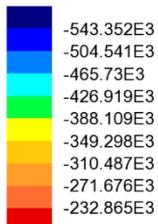


Maximum 466.199E3 at node 433 of element 398
Minimum 116.39E3 at Gauss point 7 of element 344

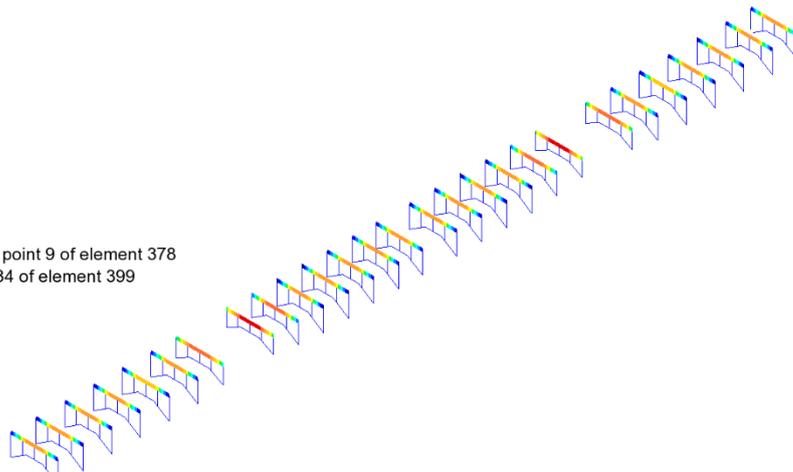


SLU fondamentale My max

Combining on: My
SLU_Fond_Traversi (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: My (Units: N.m)



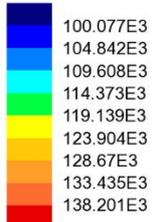
Maximum -219.248E3 at Gauss point 9 of element 378
Minimum -568.546E3 at node 434 of element 399



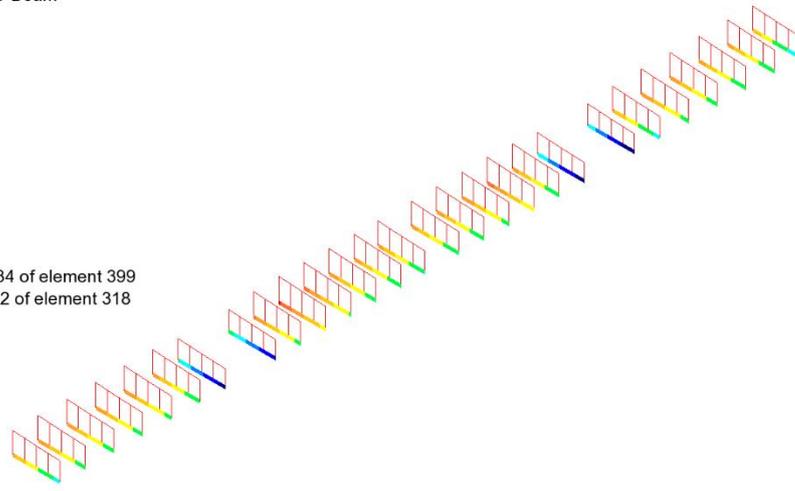
SLU fondamentale My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fz
SLU_Fond_Traversi (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fz (Units: N)

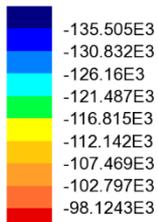


Maximum 138.912E3 at node 434 of element 399
Minimum 96.0216E3 at node 322 of element 318

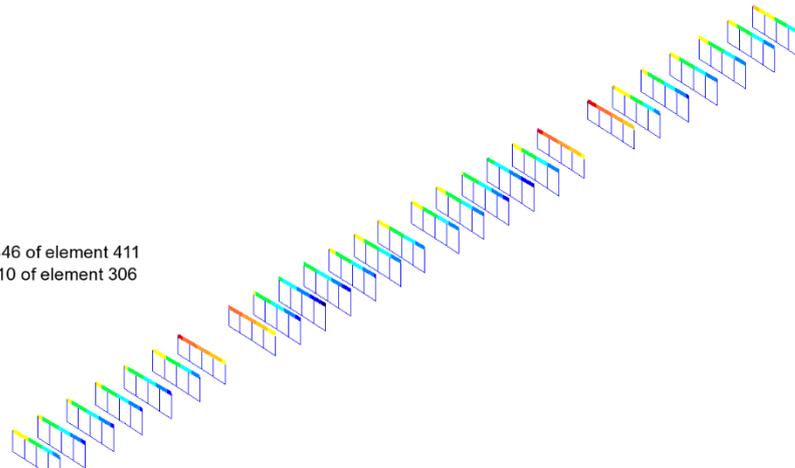


SLU fondamentale Fz max

Combining on: Fz
SLU_Fond_Traversi (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fz (Units: N)



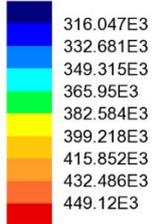
Maximum -95.5015E3 at node 446 of element 411
Minimum -137.555E3 at node 310 of element 306



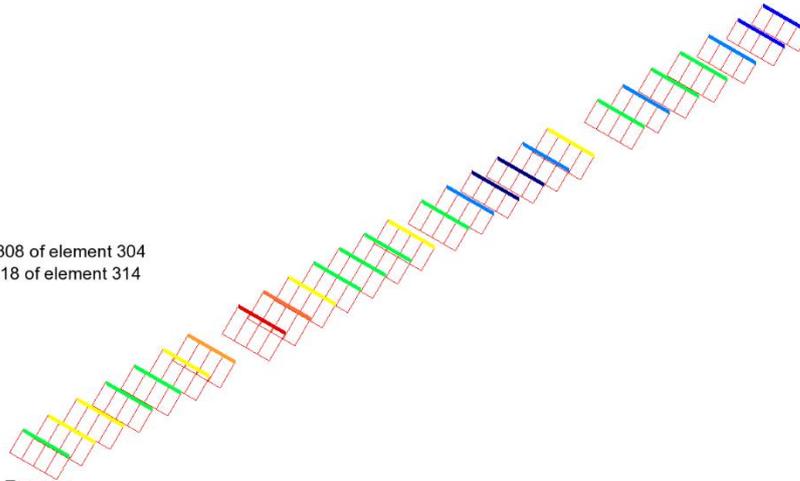
SLU fondamentale Fz min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fx
SLU_Fond_Traversi (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fx (Units: N)

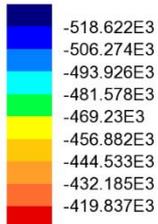


Maximum 457.993E3 at node 308 of element 304
Minimum 308.286E3 at node 318 of element 314

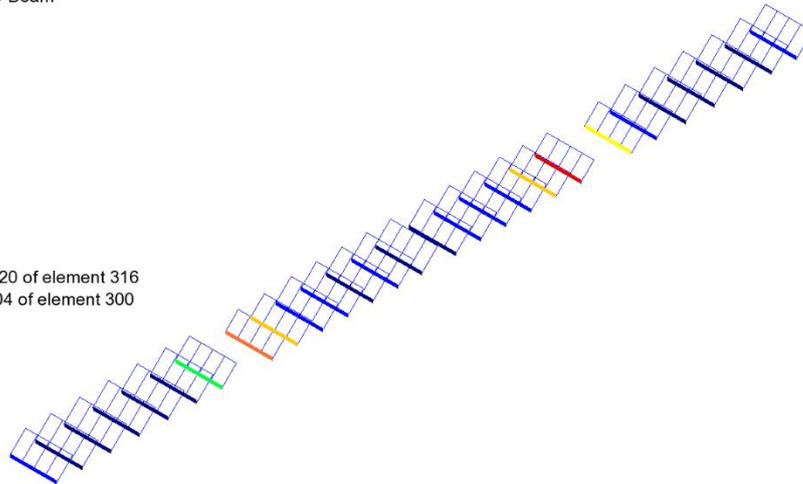


SLU fondamentale Fx max

Combining on: Fx
SLU_Fond_Traversi (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fx (Units: N)



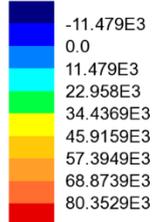
Maximum -417.735E3 at node 320 of element 316
Minimum -528.868E3 at node 304 of element 300



SLU fondamentale Fx min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

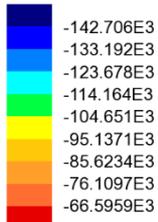
Combining on: My
SLE_rara (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: My (Units: N.m)



Maximum 86.5338E3 at node 432 of element 397
Minimum -16.7771E3 at Gauss point 8 of element 344

SLE caratteristica My max

Combining on: My
SLE_rara (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: My (Units: N.m)

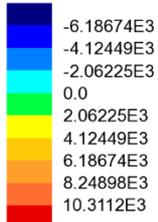


Maximum -61.7924E3 at node 444 of element 409
Minimum -147.416E3 at node 366 of element 331

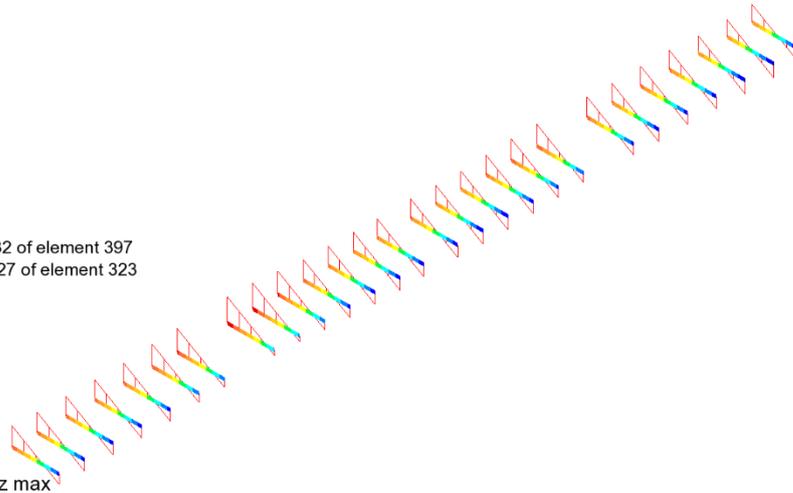
SLE caratteristica My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

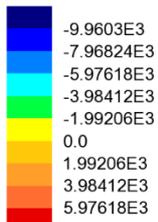
Combining on: Fz
SLE_rara (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fz (Units: N)



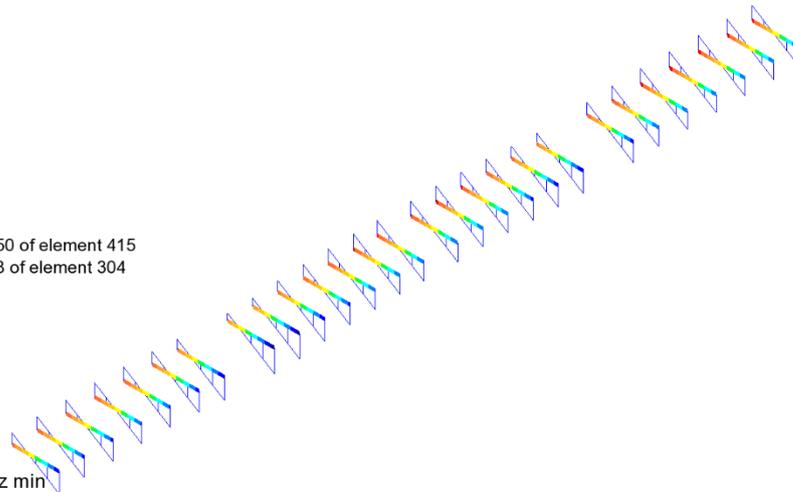
Maximum 12.0111E3 at node 432 of element 397
Minimum -6.54912E3 at node 327 of element 323



Combining on: Fz
SLE_rara (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fz (Units: N)

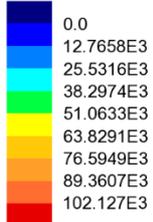


Maximum 6.79158E3 at node 450 of element 415
Minimum -11.137E3 at node 308 of element 304

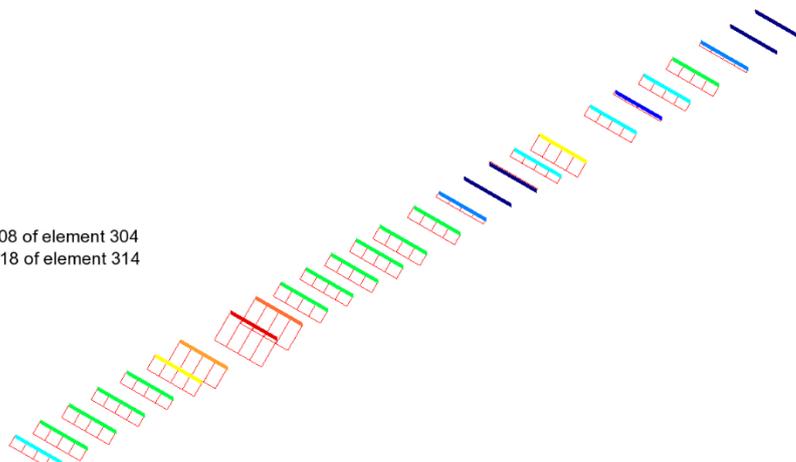


RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Combining on: Fx
SLE_rara (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fx (Units: N)

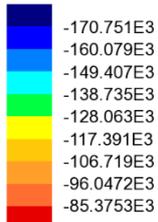


Maximum 106.761E3 at node 308 of element 304
Minimum -8.13126E3 at node 318 of element 314

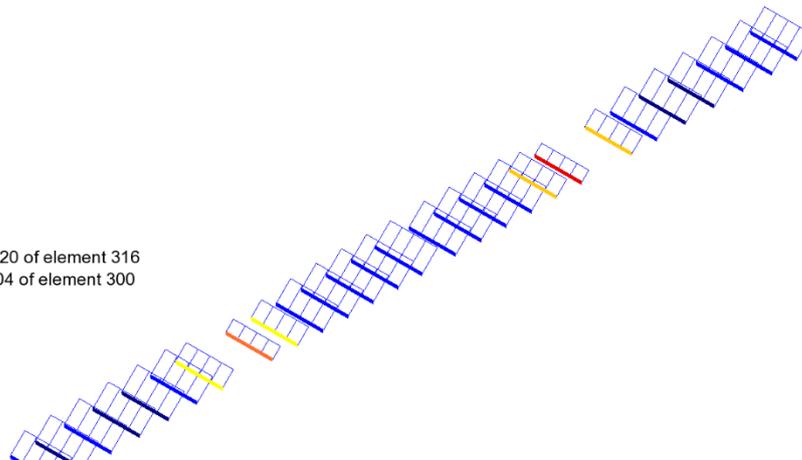


SLE caratteristica Fx max

Combining on: Fx
SLE_rara (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fx (Units: N)



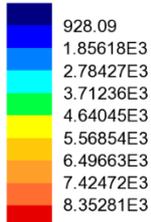
Maximum -79.6314E3 at node 320 of element 316
Minimum -175.679E3 at node 304 of element 300



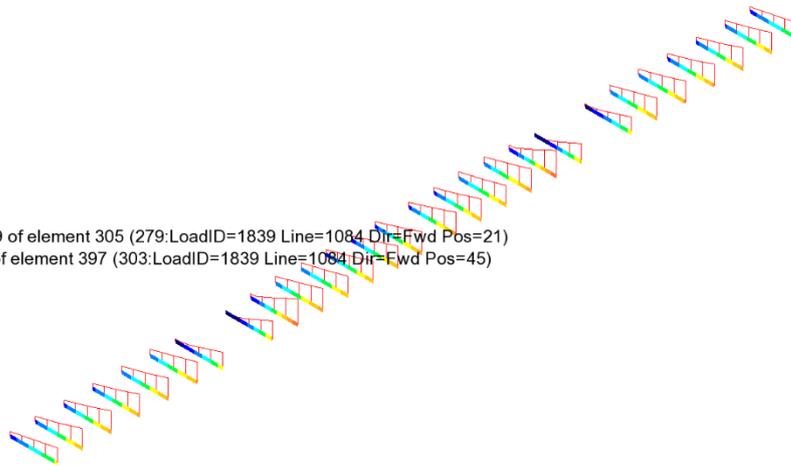
SLE caratteristica Fx min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Enveloping on: My
FLM3 (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: My (Units: N.m)

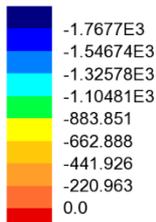


Maximum 8.3819E3 at node 309 of element 305 (279:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=21)
Minimum 29.0859 at node 432 of element 397 (303:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=45)

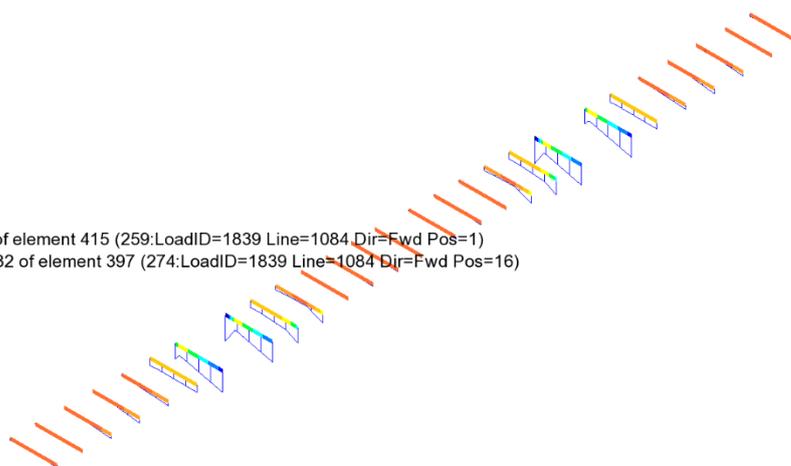


FATICA My max

Enveloping on: My
FLM3 (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: My (Units: N.m)



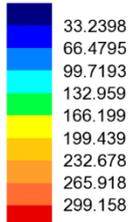
Maximum 0.0 at Gauss point 3 of element 415 (259:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=1)
Minimum -1.98858E3 at node 432 of element 397 (274:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=16)



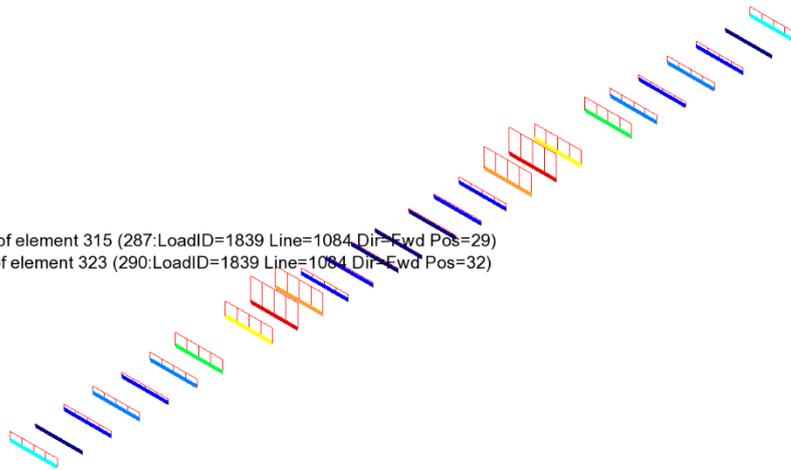
FATICA My min

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Enveloping on: Fz
FLM3 (Max)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fz (Units: N)

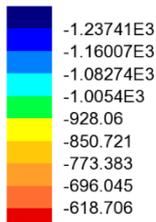


Maximum 317.333 at node 319 of element 315 (287:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=29)
Minimum 18.1751 at node 327 of element 323 (290:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=32)

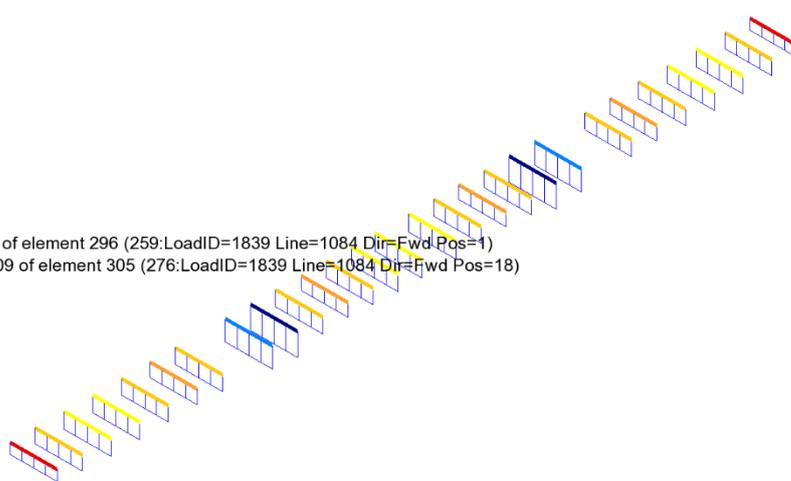


FATICA Fz max

Enveloping on: Fz
FLM3 (Min)
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Component: Fz (Units: N)



Maximum -593.603 at node 300 of element 296 (259:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=1)
Minimum -1.28965E3 at node 309 of element 305 (276:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=18)



FATICA Fz min

La tabella seguente riassume le sollecitazioni di progetto.

Combinazione	Fx(kN)	Fz(kN)	My(kNm)
SLU Fondamentale	+458/-529	139	-569
SLE Caratteristica	107/-176	12	-148
Fatica max My			29
Fatica min My			-2

Tabella 8.1 Sollecitazioni di progetto trasverso intermedio

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Le verifiche della membratura vengono effettuate, previa classificazione del profilo, allo S.L.U. elastico. Pertanto; pertanto le verifiche S.L.E. – tensioni non verranno effettuate perché automaticamente soddisfatte.

Le azioni di combinazione S.L.E. verranno considerate ai soli fini del calcolo dello scorrimento dell'unione bullonata.

8.1.1 Verifica di SLU

Sezione Traverso S1

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	790 mm
Piattabanda superiore	300x28 mm
Piattabanda inferiore	300x28 mm
Anima	15x734 mm, Inclinazione: 0

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 3
A (mm ²)	2.781E+4
z _G (mm)	395
J _y (mm ⁴)	2.934E+9
W _{y,0} (mm ³)	-7.428E+6
W _{y,1} (mm ³)	-7.995E+6
W _{y,3} (mm ³)	7.995E+6
W _{y,4} (mm ³)	7.428E+6

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
Totale	5.29E+5	1.39E+5	5.69E+5	0E+00

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	48.93	342.85	0.57	-0.58	1
Piattabanda superiore	5.09				1
Piattabanda inferiore	5.09				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-5.29E+5	M _{Ed} (Nm)	-5.69E+5	N _{Ed} (N)	-5.29E+5
N _{Rd} (N)	-9.402E+6	M _{Rd} (Nm)	-2.847E+6	M _{Ed} (Nm)	-5.69E+5
				M _{Rd} (Nm)	-2.833E+6
N _{Ed} /N _{Rd}	0.056	M _{Ed} /M _{Rd}	0.2	M _{Ed} /M _{Rd}	0.201

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorde (Comb. Mmin)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	<i>F. 3 tot</i>	η_1
σ_4	-95.6	0.283
σ_3	-90.2	0.267
σ_2	-19	0.056
σ_1	52.1	0.154
σ_0	57.6	0.17

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.283 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA
NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 48.933 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 48.798 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 2.462E+6 \text{ N}$

Essendo:

$$a/h_w = 8.924, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 5.39$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 2.459E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 3.581E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w = 1.199, \quad \lambda_w = 0.692, \quad \tau_{cr} = 427.7, \quad C = 1942.5$$

$$M_{Ed} = -5.69E+5 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = -1.969E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.289$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 2.579E+6 \text{ N}$

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 2.462E+6 \text{ N}$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.056, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.057, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.201$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

8.1.2 Stabilità laterale torsionale

Si effettua la valutazione del momento critico per stabilità laterale torsionale del profilo.

La valutazione viene effettuata con il tool LTBeam, applicando alle estremità del profilo il massimo momento di progetto S.L.U. .

Per una valutazione qualitativa completa del comportamento nei confronti della stabilità laterale torsionale, la valutazione viene effettuata considerando sia una situazione di carico ai nodi "antisimmetrica", in cui le coppie agiscono con identico verso, sia una situazione "simmetrica", con coppie di estremità agenti con verso opposto. La prima situazione è quella che maggiormente rispecchia la condizione di carico tipica del traverso.

Qui di seguito si riporta il calcolo di $M_{cr,LT}$ e la deformata critica nei due casi.

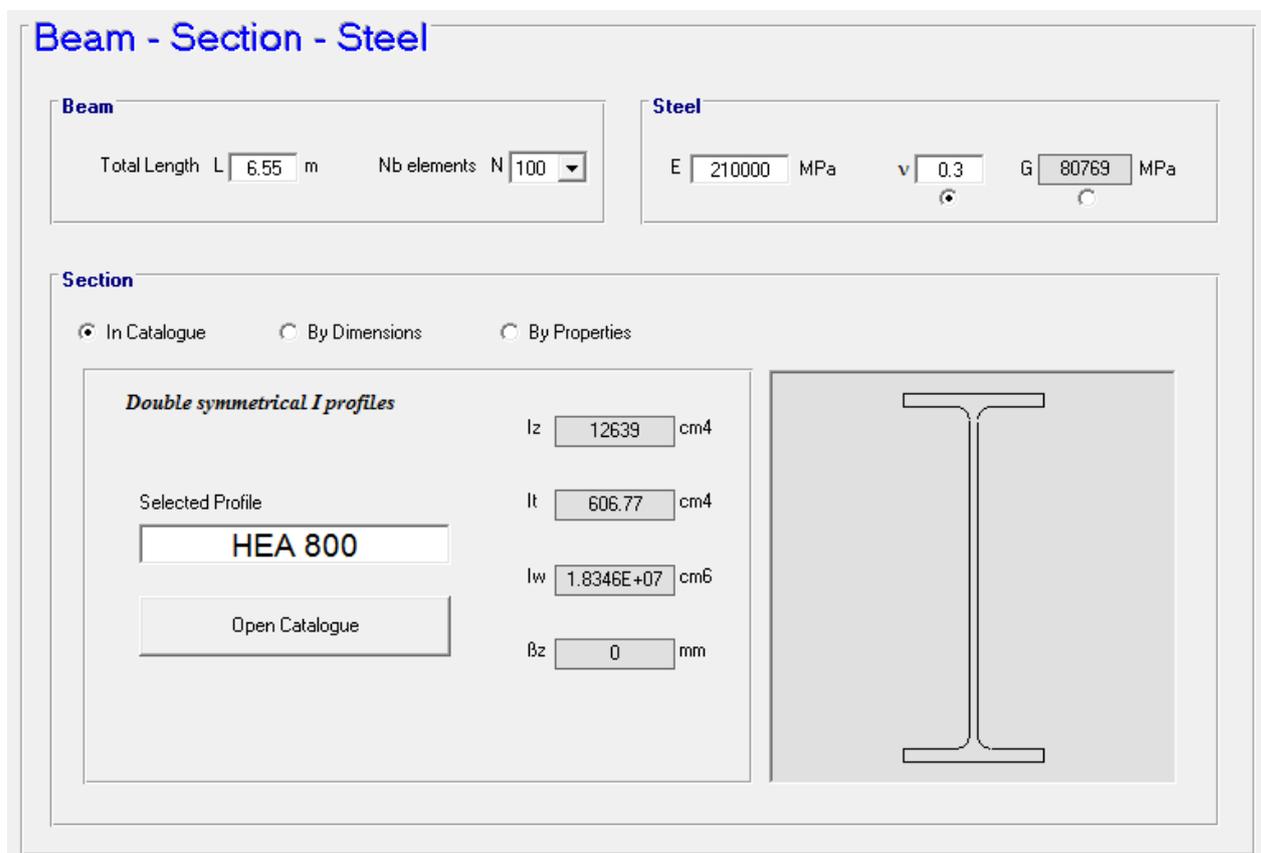


Tabella 8.2 Caratteristiche profilo

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

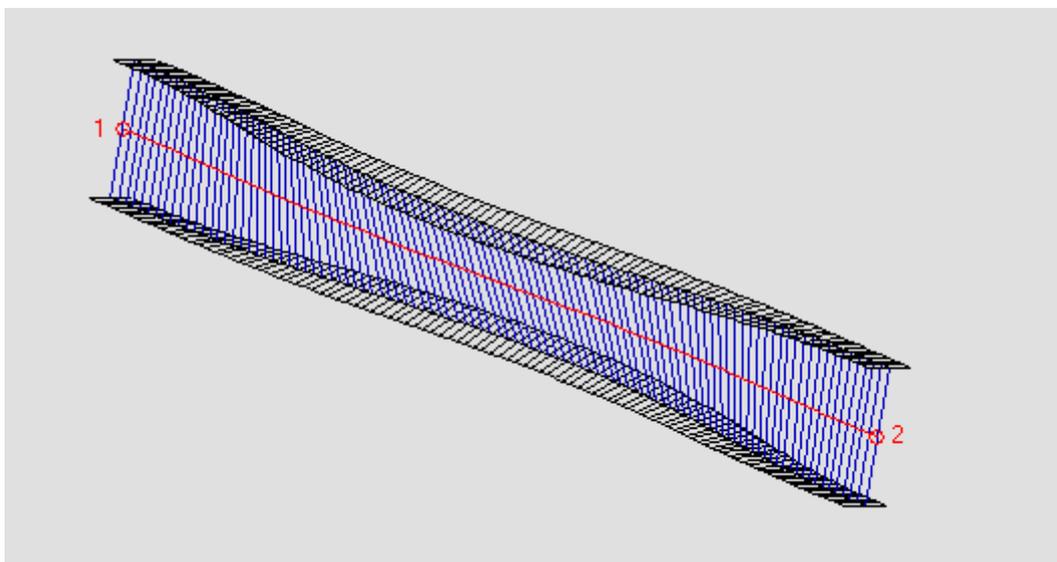
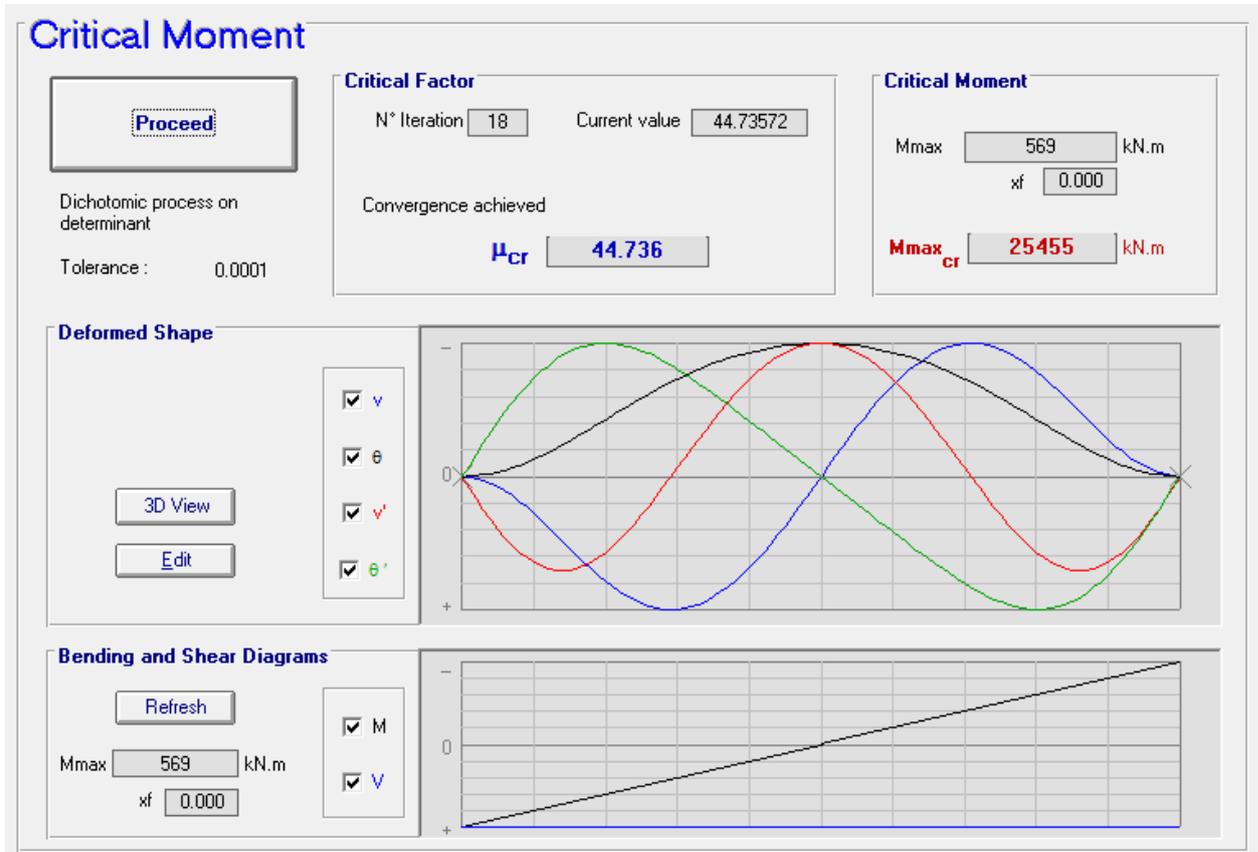


Figura 8.1 Stabilità torsionale - caso antisimmetrico

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

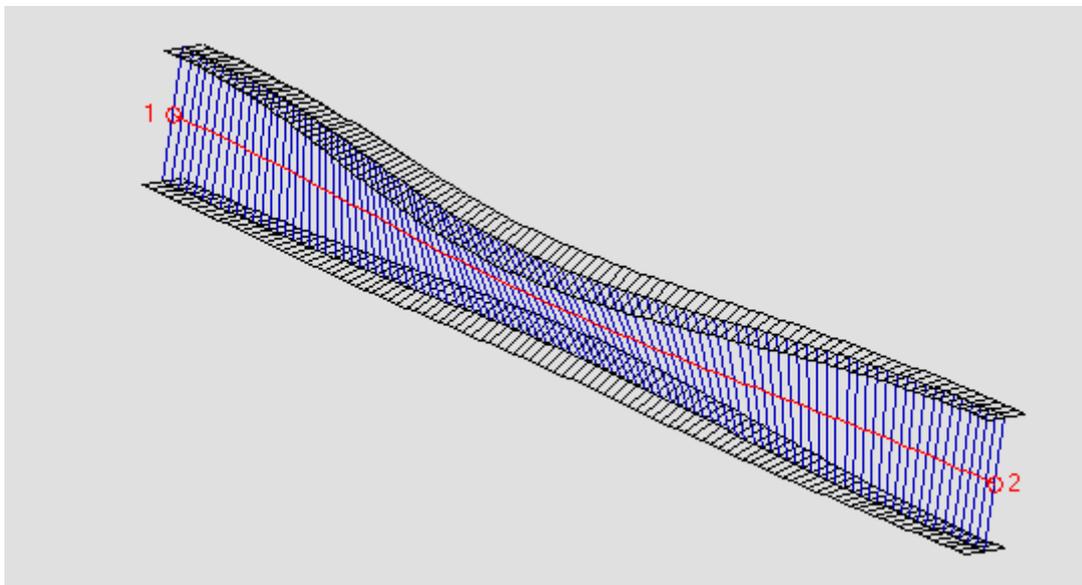
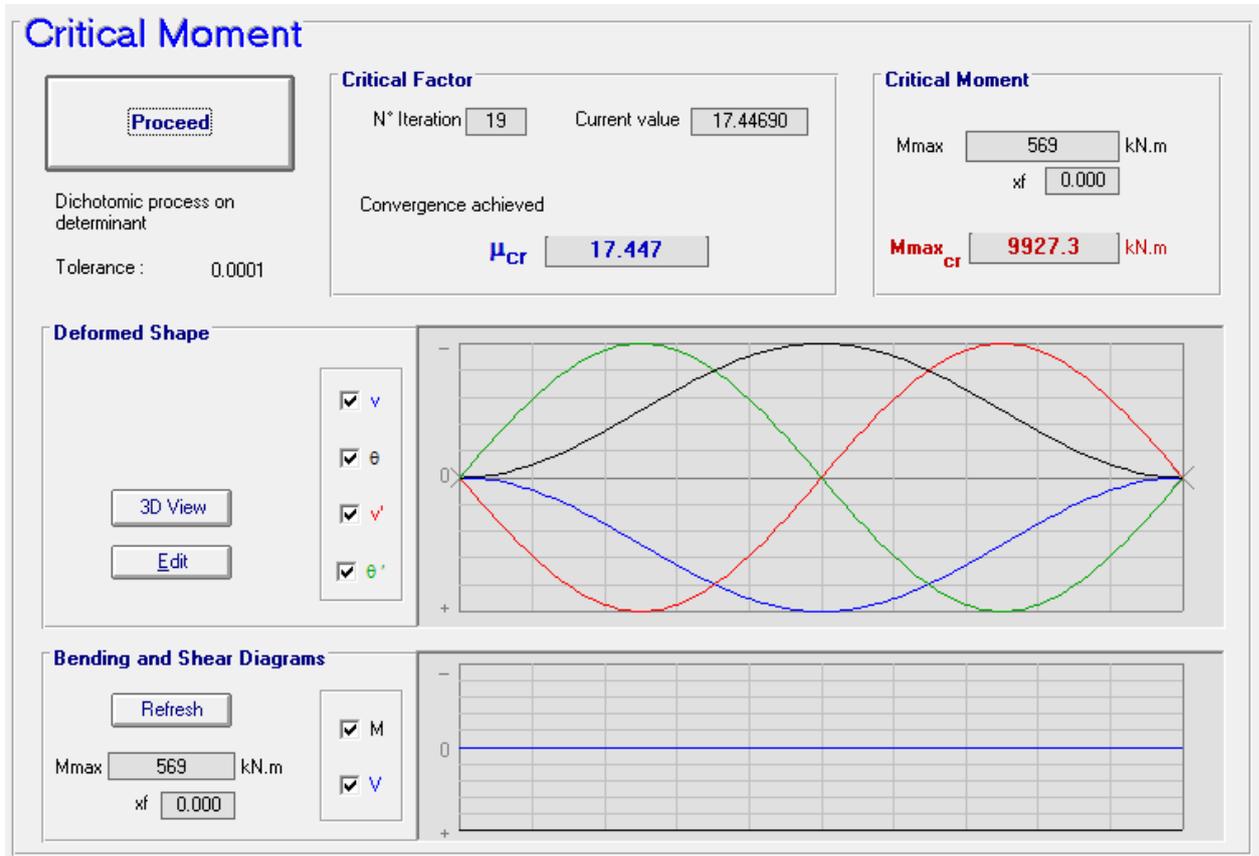


Figura 8.2 Stabilità torsionale - caso simmetrico - def. critica associata

La valutazione preliminare degli effetti della stabilità laterale torsionale viene effettuata con riferimento ai criteri contenuti in EN 1993-1-1 cap. 6.3.2.2.(1)), valutando la snellezza adimensionalizzata,

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

effettiva λ_{LT} e di base $\lambda_{LT,0}$. Per le verifiche si fa riferimento alla curva di stabilità "b" (rolled "I" sections, $h/b > 2$).

Traversi correnti			
f_y	355 Mpa	$M_{cr,LT,min}$	9927.00 kNm
W	7.68E+06 mm ³	M_{Ed}	569.00 kNm
		$M_{Ed}/M_{cr,LT}$	0.06
Curva imperf. (tab. 6.3)			
α_{LT}	0.49	λ_{LT}	0.52
		λ_{LTO}	0.4
		λ_{LTO}^2	0.16

Risultando $M_{Ed}/M_{cr,LT,min} = 0.05 \ll \lambda_{LTO}^2$, si può concludere che è possibile ignorare gli effetti dell'instabilità torsionale nelle verifiche del profilo (EN1993-1-1 6.3.2.2(4)).

8.1.3 Verifica del Giunto bullonato

Materiali

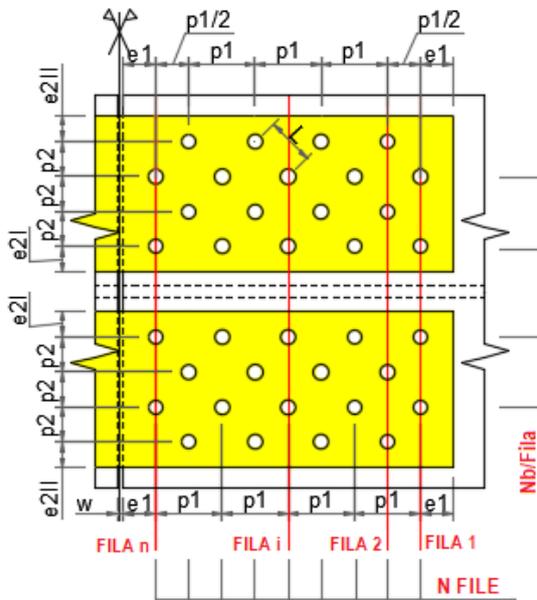
Bulloni		Piatti	
		t ≤ 40 mm	t > 40 mm
Classe	10.9	f_u (N/mm ²)	510 / 470
<input checked="" type="radio"/> Taglio su parte filettata		f_y (N/mm ²)	355 / 335
<input type="radio"/> Taglio su parte non filettata			

Resistenza allo scorrimento		Coefficienti di sicurezza	
k_s	1	γ_{M2}	1.25
μ	0.3	$\gamma_{M3,SLU}$	1.25
		$\gamma_{M3,SLE}$	1.1

Geometria del giunto

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

FLANGIA SUPERIORE ED INFERIORE



Bulloni

N file	6
Nb/fila	2
d (mm)	24
d0 (mm)	25.5

Distanze Interassi

e1 (mm)	50
p1 (mm)	100
e2I (mm)	35
e2II (mm)	35
p2 (mm)	40

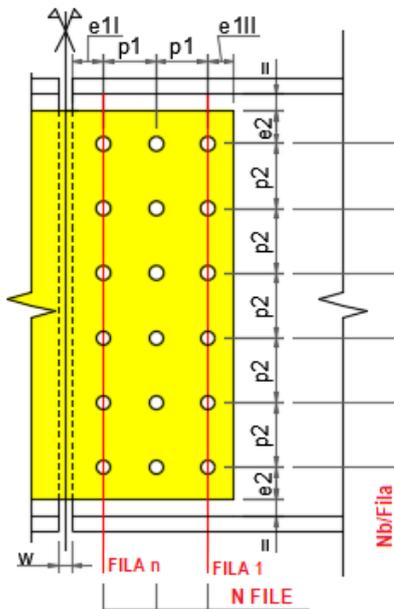
Piatti d'imbottitura

t SX (mm)	0
t DX (mm)	0

Piatti interni/esterni

t (mm)	22
--------	----

ANIMA



Bulloni

N file	2
Nb/fila	9
d (mm)	24
d0 (mm)	24.5

Distanze Interassi

e1I (mm)	50
e1II (mm)	50
p1 (mm)	70
e2 (mm)	50
p2 (mm)	65
w (mm)	10

Piatti d'imbottitura

t SX (mm)	0
t DX (mm)	0

Piatti interni/esterni

t (mm)	10
--------	----

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

L'esito delle verifiche è riassunto nella tabella seguente.

Comb.	Comp.	FvEd/FvRd	FbEd/FbRd	VEd/VpIRd	N-MEd/N-MRd	VEd/VpIpRd	N-MEd/N-MpRd
SLU, Mmin	Ali sup.	0.225	0.169	-	0.275	-	0.238
	Anima	0.23	0.26	0.097	0.34	0.089	0.399
	Ali inf.	0.133	0.1	-	0.18	-	0.169

Comb.	Comp.	FvEd/FsRd
SLE c., Mmin	Ali sup.	0.078
	Anima	0.106
	Ali inf.	0.117

Comb.	combinazione di progetto
Comp.	componenti da collegare; ali superiori, anima, ali inferiori
F_{vEd}/F_{vRd}	coefficiente di utilizzo a taglio dei bulloni (SLU, Cat. A e B)
F_{bEd}/F_{bRd}	coefficiente di utilizzo a rifollamento di piatti-profilo (SLU, Cat. A, B e C)
V_{Ed}/V_{pIRd}	coefficiente di utilizzo a taglio dei piatti coprigiunto d'anima (SLU)
$N-M_{Ed}/N-M_{pRd}$	coefficiente di utilizzo a presso flessione dei piatti coprigiunto (SLU)
F_{vEd}/F_{sRd}	coefficiente di utilizzo a scorrimento dei bulloni (SLE caratteristica, Cat. B o SLU, Cat. C)
$N-M_{Ed}/N-M_{RD}$	coefficiente di utilizzo a trazione su area netta profilo (SLU, Cat. C)

8.2 VERIFICA TRAVERSI IN ASSE APPOGGI

I traversi di pile e di spalle sono realizzati con profili a composizione saldata a doppio T, con le seguenti caratteristiche:

Lamiere (Pila/Spalla)	
bs (mm)	350
ts (mm)	40
hmet (mm)	1300
twr (mm)	30
alfa	0
bi (mm)	350
ti (mm)	40

Le verifiche saranno svolte solo per il traverso in asse pila, essendo la geometria dei traversi identica, ed essendo le sollecitazioni in asse pile più elevate.

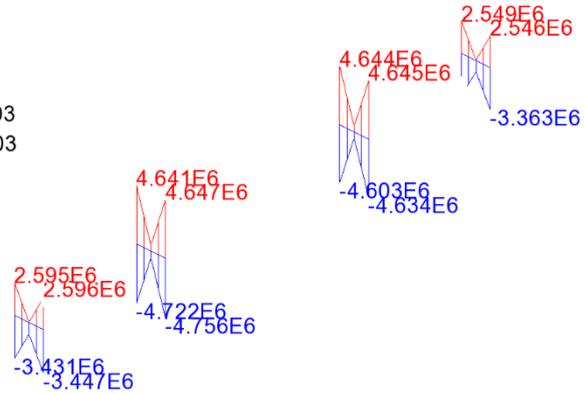
Le sollecitazioni di stato limite ultimo sono comprensive dell'effetto indotto dalle forze di stabilizzazione della piattabanda inferiore compressa delle travate principali. Si riportano inoltre le sollecitazioni per l'SLV sismico, e per la Combinazione caratteristica.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: My
SLU_Fond_Traversi (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: My (Units: N.m)
Diagram maximum 4.64678E6 at node 307 of element 303
Diagram minimum -4.75587E6 at node 307 of element 303
Diagram scale: 1: 4.20533E-6

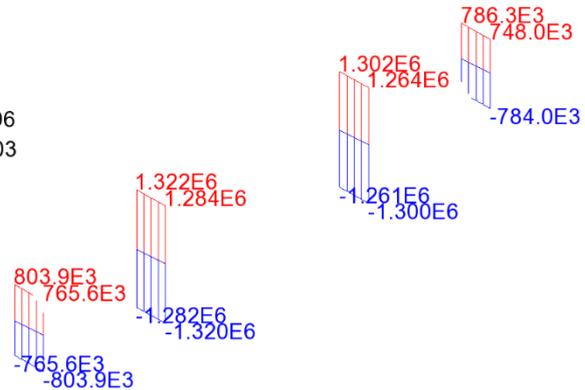
SLU fondamentale My



Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: Fz
SLU_Fond_Traversi (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz (Units: N)
Diagram maximum 1.32231E6 at node 431 of element 396
Diagram minimum -1.32003E6 at node 307 of element 303
Diagram scale: 1: 15.125E-6

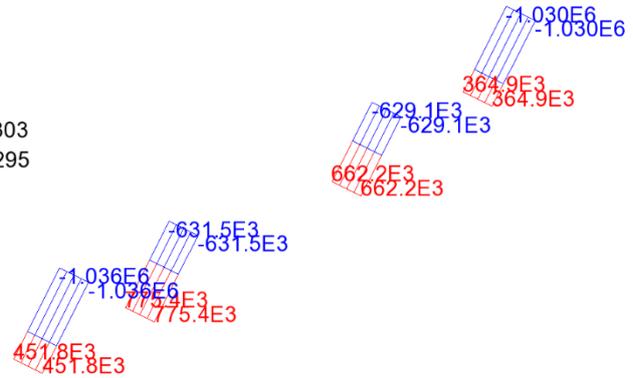
SLU fondamentale Fz



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: Fx
SLU_Fond_Traversi (Max)

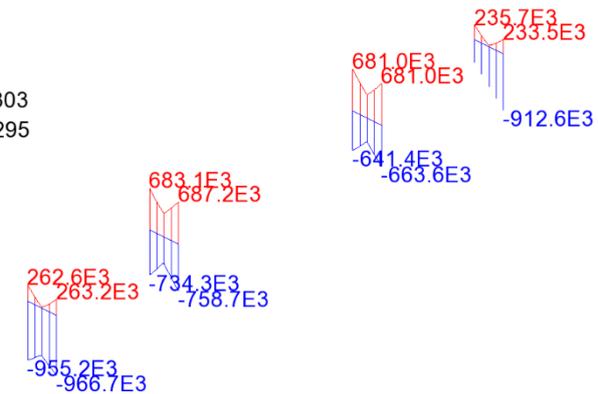
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fx (Units: N)
Diagram maximum 775.405E3 at node 307 of element 303
Diagram minimum -1.03614E6 at node 299 of element 295
Diagram scale: 1: 19.3024E-6



SLU fondamentale Fx

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: My
SLE_rara (Max)

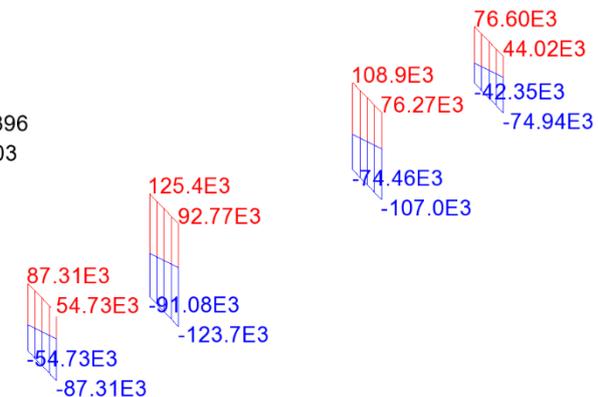
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: My (Units: N.m)
Diagram maximum 687.178E3 at node 307 of element 303
Diagram minimum -966.714E3 at node 299 of element 295
Diagram scale: 1: 20.6886E-6



SLE caratteristica My

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: Fz
SLE_rara (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz (Units: N)
Diagram maximum 125.353E3 at node 431 of element 396
Diagram minimum -123.66E3 at node 307 of element 303
Diagram scale: 1: 0.15955E-3

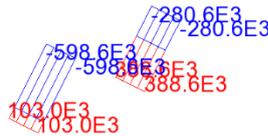
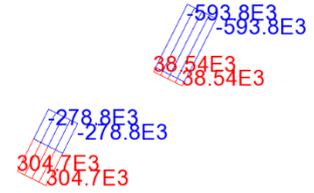


SLE caratteristica Fz

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: Fx
SLE_rara (Max)

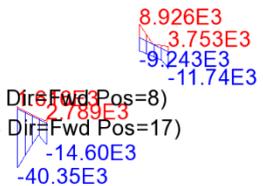
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fx (Units: N)
Diagram maximum 388.572E3 at node 307 of element 303
Diagram minimum -598.554E3 at node 299 of element 295
Diagram scale: 1: 33.4139E-6



SLE caratteristica Fx

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Enveloping on: My
FLM3 (Max)

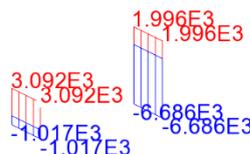
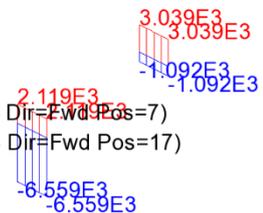
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: My (Units: N.m)
Diagram maximum 9.12308E3 at node 423 of element 388 (266:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=8)
Diagram minimum -40.7659E3 at node 431 of element 396 (275:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=17)
Diagram scale: 1: 0.490606E-3



FATICA My

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Enveloping on: Fz
FLM3 (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz (Units: N)
Diagram maximum 3.09166E3 at node 299 of element 295 (265:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=7)
Diagram minimum -6.68581E3 at node 307 of element 303 (275:LoadID=1839 Line=1084 Dir=Fwd Pos=17)
Diagram scale: 1: 2.99141E-3



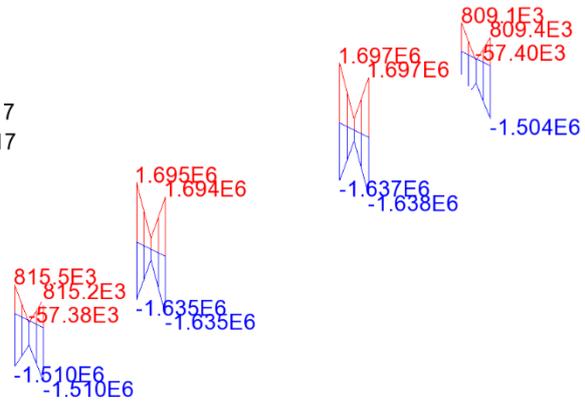
FATICA Fz

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: My
Ed_SLV (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: My (Units: N.m)
Diagram maximum 1.69721E6 at node 321 of element 317
Diagram minimum -1.63766E6 at node 321 of element 317
Diagram scale: 1: 11.7841E-6

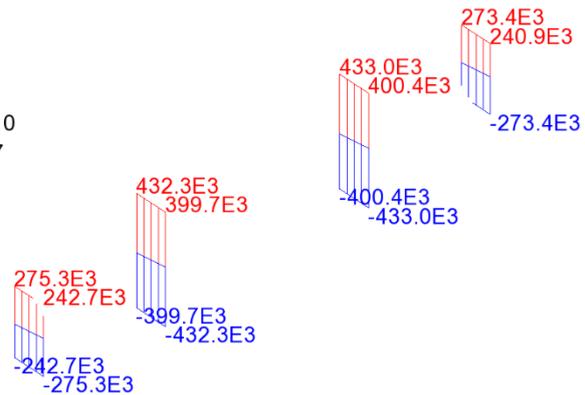
SLV SISMA My



Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: Fz
Ed_SLV (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz (Units: N)
Diagram maximum 432.976E3 at node 445 of element 410
Diagram minimum -432.99E3 at node 321 of element 317
Diagram scale: 1: 46.1905E-6

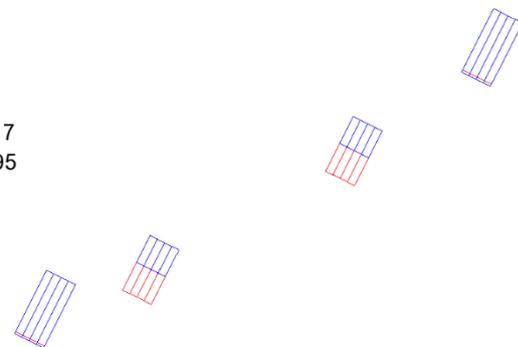
SLV SISMA Fz



Scale: 1: 278.966
Zoom: 46.7224
Eye: (-0.616778, -0.568937, 0.543964)
Combining on: Fx
Ed_SLV (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fx (Units: N)
Diagram maximum 249.395E3 at node 321 of element 317
Diagram minimum -568.622E3 at node 299 of element 295
Diagram scale: 1: 35.1727E-6

SLV SISMA Fx



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

In sintesi si ha:

Combinazione	Fx(kN)	Fz(kN)	My(kNm)
SLU Fondamentale	775/-1036	1322	-4759
SLE Caratteristica	389/-599	125	-967
ENV SISMA SLV	249/-569	433	-1638

A favore di sicurezza, si sono utilizzate le sollecitazioni massime di Flessione, Taglio e Sforzo normale, anche se non concomitanti.

8.2.1 Verifica di SLU

Sezione PilaSpalla S1

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	1300 mm
Piattabanda superiore	350x40 mm
Piattabanda inferiore	350x40 mm
Anima	30x1220 mm, Inclinazione: 0

Caratteristiche geometriche lorde

	<i>Fessurata</i>
A (mm ²)	6.46E+4
z _G (mm)	650
J _y (mm ⁴)	1.566E+10
W _{y,0} (mm ³)	-2.409E+7
W _{y,1} (mm ³)	-2.567E+7
W _{y,3} (mm ³)	2.567E+7
W _{y,4} (mm ³)	2.409E+7

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
Totale	- 1.04E+6	1.32E+6	- 4.76E+6	0E+00

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	40.67	598.93	0.54	-0.84	1
Piattabanda superiore	4				1
Piattabanda inferiore	4				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-1.036E+6	M _{Ed} (Nm)	-4.759E+6	N _{Ed} (N)	-1.036E+6
N _{Rd} (N)	-2.184E+7	M _{Rd} (Nm)	-9.738E+6	M _{Ed} (Nm)	-4.759E+6
				M _{Rd} (Nm)	-9.712E+6
N _{Ed} /N _{Rd}	0.047	M _{Ed} /M _{Rd}	0.489	M _{Ed} /M _{Rd}	0.49
VERIFICA SODDISFATTA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 3 tot	η ₁
σ ₄	-213.6	0.632
σ ₃	-201.5	0.596
σ ₂	-16	0.047
σ ₁	169.4	0.501
σ ₀	181.5	0.537

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.632 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA
NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling
 $h_w/t_w=40.667 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=49.197$ Verifica a Shear Buckling: NON NECESSARIA

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd}=8.183E+6 N**

Essendo:

a/h_w=5.369, η=1.2, K_τ=5.479
contributo anima: V_{bw,Rd}=8.183E+6 N, contributo flange: V_{bf,Rd}=2.071E+4 N
χ_w=1.2, λ_w=0.571, τ_{cr}=629.4, C=1768.9
M_{Ed}=-4.759E+6 Nm, M_{f,Rd}=-5.33E+6 Nm, M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.893

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd}=8.573E+6 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd}=V_{pl,Rd}=8.573E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.154, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.162, \quad \eta_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.49$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

8.2.2 Stabilità laterale torsionale

Si effettua la valutazione del momento critico per stabilità laterale torsionale del profilo, seguendo i medesimi criteri generali adottati per la verifica dei traversi di campata.

Qui di seguito si riporta il calcolo di $M_{cr,LT}$ e la deformata critica per stabilità laterale torsionale per il caso antisimmetrico e risp. caso antisimmetrico.

Beam - Section - Steel

Beam

Total Length L m Nb elements N

Steel

E MPa ν G MPa

Section

In Catalogue By Dimensions By Properties

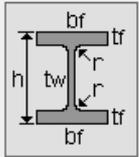
h mm

tw mm

bf mm

tf mm

r mm



OK

lz cm⁴

lt cm⁴

lw cm⁶

Bz mm

More...

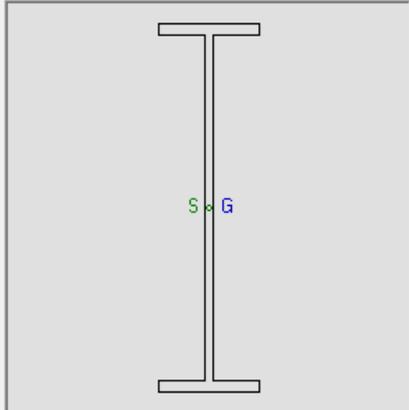


Tabella 8.3 Caratteristiche profilo

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

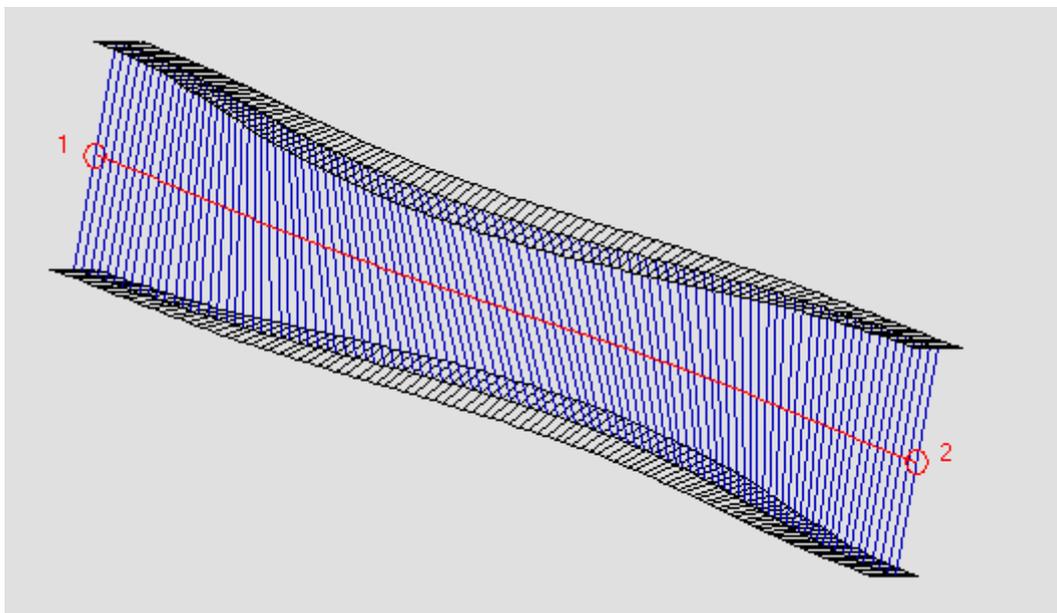
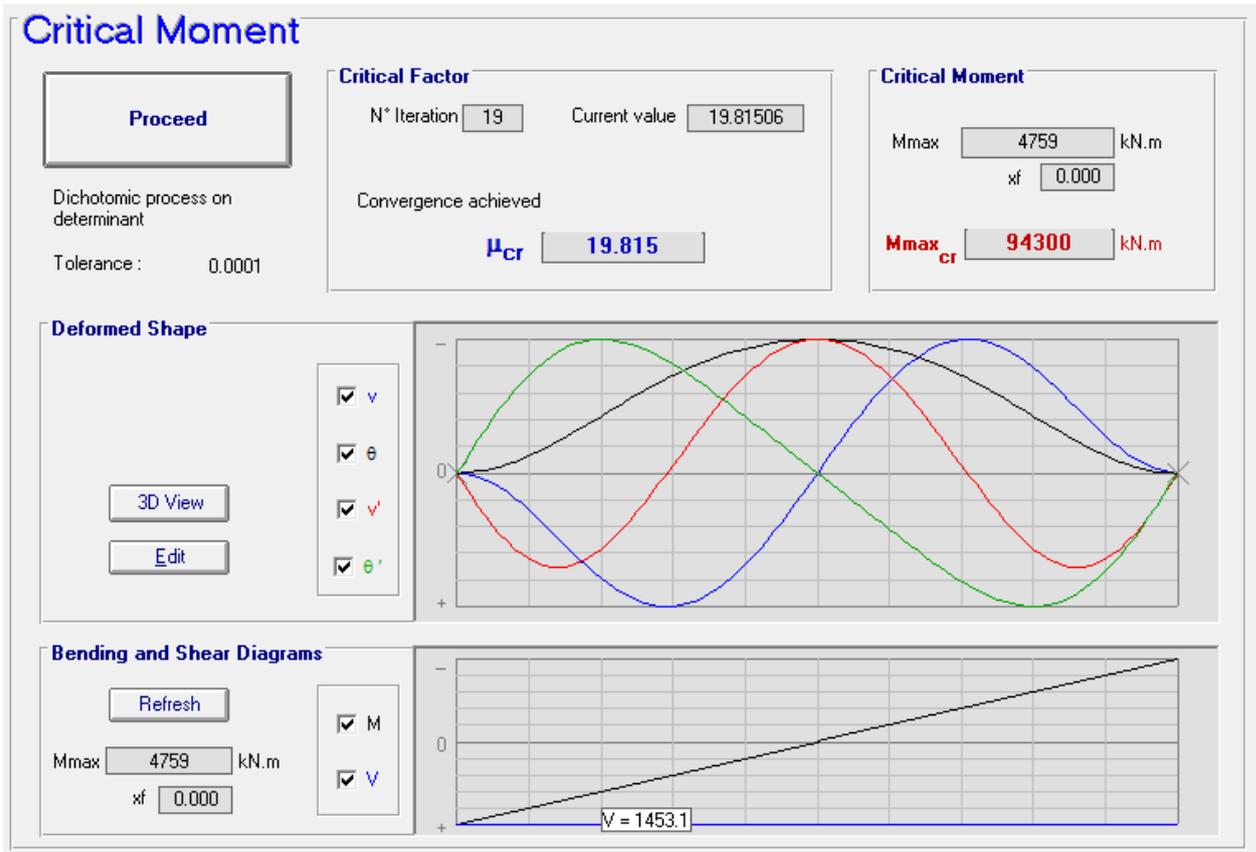


Figura 8.3 Stabilità torsionale - caso antisimmetrico

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

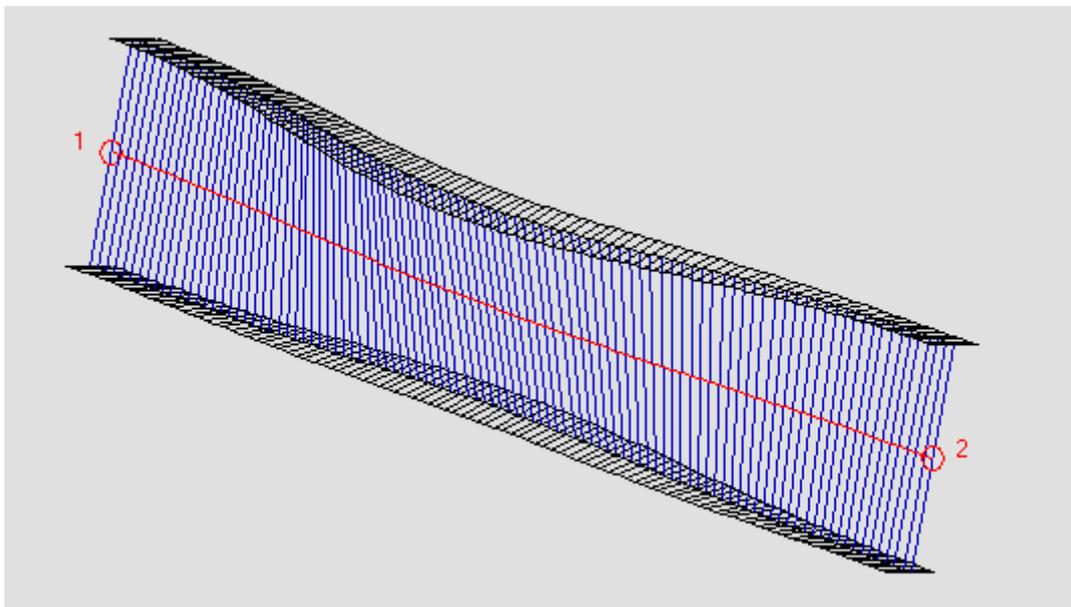
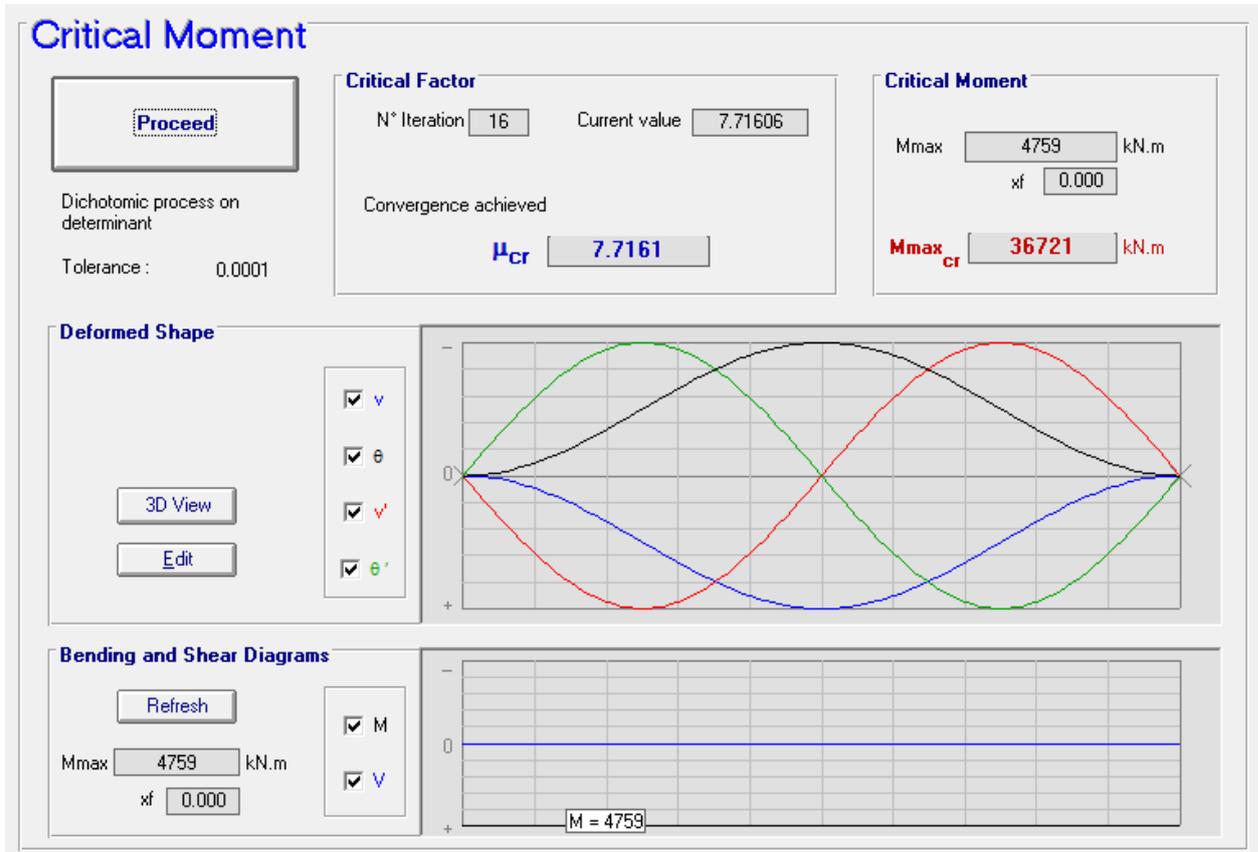


Figura 8.4 Stabilità torsionale - caso simmetrico - def. critica associata

La valutazione preliminare degli effetti della stabilità laterale torsionale viene effettuata con riferimento ai criteri contenuti in EN 1993-1-1 cap. 6.3.2.2.(1)), valutando la snellezza adimensionalizzata,

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

effettiva λ_{LT} e di base $\lambda_{LT,0}$. Per le verifiche si fa riferimento, a favore di sicurezza, alla curva di stabilità "d" (welded "I" sections, $h/b > 2$)

Traversi principali			
f_y	355 Mpa	$M_{cr,LT,min}$	36719.00 kNm
W	$2.41E+07 \text{ mm}^3$	M_{Ed}	4759.00 kNm
		$M_{Ed}/M_{cr,LT}$	0.13
Curva imperf. (tab. 6.3)			
α_{LT}	0.76	λ_{LT}	0.48
		λ_{LTO}	0.4
		λ_{LTO}^2	0.16

Risultando $M_{Ed}/M_{cr,LT,min} < \lambda_{LTO}^2$, si può concludere che è possibile ignorare gli effetti dell'instabilità torsionale nelle verifiche del profilo (EN1993-1-1 6.3.2.2(4)).

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

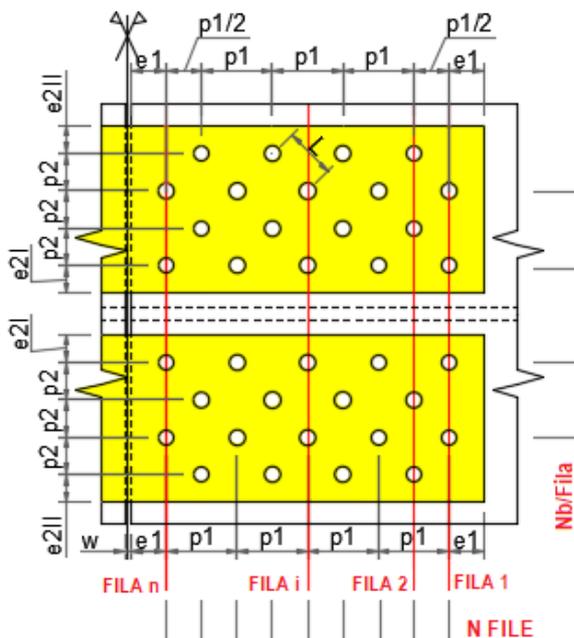
8.2.3 Verifica del Giunto bullonato

Materiali

Bulloni		Piatti	
Classe	10.9	t ≤ 40 mm	t > 40 mm
<input checked="" type="radio"/> Taglio su parte filettata		fu (N/mm ²)	510 / 470
<input type="radio"/> Taglio su parte non filettata		fy (N/mm ²)	355 / 335
Resistenza allo scorcimento		Coefficienti di sicurezza	
ks	1	γ M2	1.25
μ	0.3	γ M3,SLU	1.25
		γ M3,SLE	1.1

Geometria del giunto

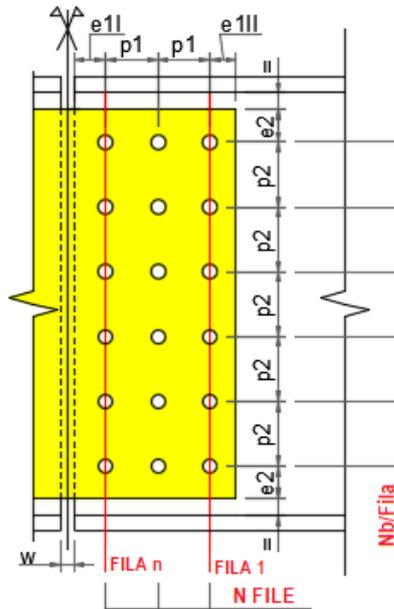
FLANGIA SUPERIORE ED INFERIORE



Bulloni	
N file	8
Nb./flia	2
d (mm)	24
d0 (mm)	25.5
Distanze Interassi	
e1 (mm)	50
p1 (mm)	80
e2I (mm)	40
e2II (mm)	40
p2 (mm)	55
Piatti d'imbottitura	
t SX (mm)	0
t DX (mm)	0
Piatti interni/esterni	
t (mm)	30

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

ANIMA



Bulloni

N file	2
Nb./fila	16
d (mm)	24
d0 (mm)	25.5

Distanze Interassi

e1I (mm)	50
e1II (mm)	50
p1 (mm)	70
e2 (mm)	50
p2 (mm)	70
w (mm)	10

Piatti d'imbottitura

t SX (mm)	0
t DX (mm)	0

Piatti interni/esterni

t (mm)	20
--------	----

L'esito delle verifiche è riassunto nella tabella seguente.

Comb.	Comp.	FvEd/FvRd	FbEd/FbRd	VEd/VpIRd	N-MEd/N-MRd	VED/VplpRd	N-MEd/N-MpRd
SLU, Mmin	Ali sup.	0.627	0.284	-	0.614	-	0.53
	Anima	0.891	0.612	0.292	0.834	0.228	0.755
	Ali inf.	0.53	0.24	-	0.559	-	0.509

Comb.	Comp.	FvEd/FsRd
SLE c., Mmin	Ali sup.	0.305
	Anima	0.409
	Ali inf.	0.188

Comb. combinazione di progetto
 Comp. componenti da collegare; ali superiori, anima, ali inferiori
 F_{vEd}/F_{vRd} coefficiente di utilizzo a taglio dei bulloni (SLU, Cat. A e B)
 F_{bEd}/F_{bRd} coefficiente di utilizzo a rifollamento di piatti-profilo (SLU, Cat. A, B e C)
 V_{Ed}/V_{pIRd} coefficiente di utilizzo a taglio dei piatti coprigiunto d'anima (SLU)
 $N-M_{Ed}/N-M_{pRd}$ coefficiente di utilizzo a presso flessione dei piatti coprigiunto (SLU)
 F_{vEd}/F_{sRd} coefficiente di utilizzo a scorrimento dei bulloni (SLE caratteristica, Cat. B o SLU, Cat. C)
 $N-M_{Ed}/N-M_{RD}$ coefficiente di utilizzo a trazione su area netta profilo (SLU, Cat. C)

9. VERIFICA A FESSURAZIONE IN DIREZIONE LONGITUDINALE

Si assume come limite dell'apertura delle fessure $w_k=0.2$ mm, in accordo a NTC2008 par. 4.1.2.2.4.5 Tabella 4.1.IV, per ambiente tipo XF4 (Molto aggressivo).

9.1 AREA MINIMA

Ai fini del controllo della fessurazione, si calcola l'area minima di armatura prevista da EN 1994-2 7.4.2. (1).

$$A_s = k_s k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$$

In cui si pone

$$k_s = 0.9$$

$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{h_c}{2z_0}} + 0.3 \leq 1.0$$

coefficiente che tiene conto della distribuzione di tensioni nella sezione immediatamente prima della fessurazione

z_0 = distanza tra i baricentri della soletta non fessurata e della sezione omogeneizzata in fase 3 e non fessurata

A_{ct} = area della soletta in trazione per effetto dei carichi diretti e del ritiro immediatamente prima della fessurazione (per semplicità si assume l'area dell'intera soletta)

σ_s = massima tensione di trazione nelle armature dopo la formazione delle fessure, assunta pari ad f_{yk} .

Il calcolo di A_{smin} ed il relativo confronto con A_{sreale} viene effettuato in automatico, con riferimento alle armature effettivamente presenti entro la larghezza efficace di volta in volta prevista per le varie sezioni; il risultato è riportato nella tabella seguente.

Sezione	z0 fase3 (mm)	kc	Act (mm^2)	As,min (mm^2)	As,reale (mm^2)	Verifica (As min)
C1_1	502	1	1113312	5520	14573	SI
C1_2	451	1	1302672	6459	17052	SI
C1_3	440	1	1350000	6694	17671	SI
C2_4	428	1	1350000	6694	25447	SI
C2_5	428	1	1350000	6694	25447	SI
C2_6	433	1	1327200	6581	25017	SI
C3_7	489	1	1327176	6581	50033	SI
C3_8	494	1	1304400	6468	49175	SI
C3_cracked_9	494	1	1304376	6467	49174	SI
C3_cracked_10	511	1	1236768	6132	46625	SI
C3_cracked_12	511	1	1236000	6128	46596	SI
C3_cracked_13	511	1	1236456	6131	46613	SI
C3_cracked_14	498	1	1290720	6400	48659	SI
C4_cracked_15	453	1	1290720	6400	24329	SI
C4_cracked_16	450	1	1304400	6468	24587	SI
C4_17	450	1	1304400	6468	24587	SI
C4_18	442	1	1336320	6626	25189	SI

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sezione	z0 fase3 (mm)	kc	Act (mm^2)	As,min (mm^2)	As,reale (mm^2)	Verifica (As min)
C4_19	439	1	1350000	6694	25447	SI
C5_20	509	1	1350000	6694	17671	SI
C5_21	509	1	1350000	6694	17671	SI
C5_22	509	1	1350000	6694	17671	SI

9.2 CONTROLLO DELLA FESSURAZIONE PER CARICHI INDIRETTI

La verifica a fessurazione, per carichi indiretti, è eseguita secondo il seguente schema, ricavando la tensione nell'armatura σ_s a partire dalla formula inversa utilizzata per determinare l'area minima di armatura. Quindi in funzione del diametro equivalente e della ampiezza caratteristica ammessa delle fessure (ϕ^* , w_k), ed in funzione del passo e dell'ampiezza (p , w_k) si ricava la massima tensione ammissibile nell'armatura σ_{amm} confrontata con σ_s .

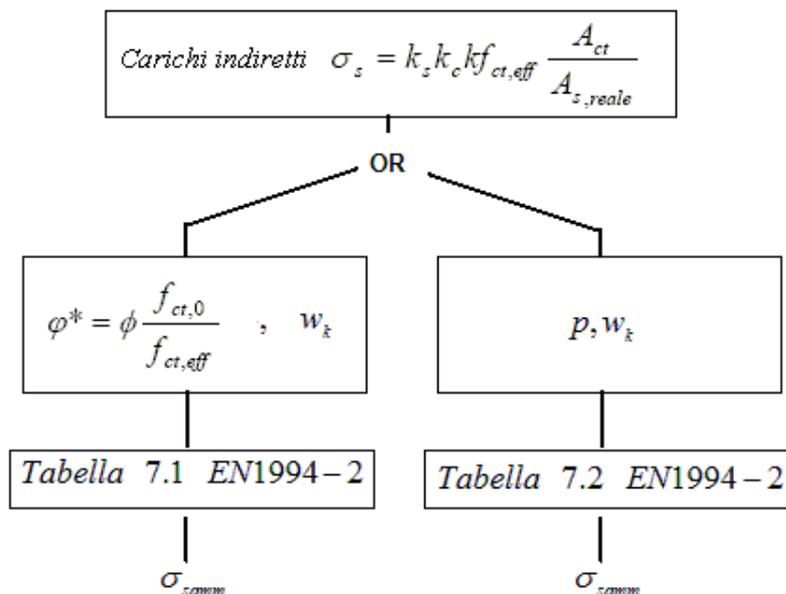


Tabella 9.1: Schema per la verifica a fessurazione per carichi indiretti

Nella tabella in seguente si riportano i relativi risultati, con il seguente significato dei simboli utilizzati.

fimax/pmax	diametro massimo/passaggio massimo in millimetri dell'armatura superiore ed inferiore della soletta
Sigc rara	tensione massima nel calcestruzzo all'estradosso della soletta per la combinazione SLE caratteristica
Stato (c. rara)	stato della sezione per la combinazione SLE caratteristica; <i>Fessurata</i> se Sig c rara > 2*fctm, altrimenti <i>Non fessurata</i>
Sig,s	tensione nell'armatura quando la sezione si fessura; valore riportato solo se lo stato della sezione è <i>Fessurata</i>

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- Fi*** ϕ^* diametro massimo per ricavare dalla Tabella 7.1, EN 1994-2, 7.4.2 la tensione ammissibile **Sig am(Fi)**
- Sig am(Fi)** Tensione ammissibile che garantisce il controllo dell'ampiezza delle fessure al di sotto di w_k per un diametro Fi^* , ricavata dalla Tabella 7.1
- Sig am (p)** Tensione ammissibile che garantisce il controllo dell'ampiezza delle fessure al di sotto di w_k per un passo massimo p , ricavata dalla Tabella 7.2, EN 1994-2, 7.4.2
- Verifica (carichi indiretti)** Esito della verifica, che applica solo se la sezione è fessurata

Sezione	fimax/ pmax	Sigc rara (N/mm ²)	Stato (c. rara)	Sig,s (N/mm ²)	Fi* (mm)	Sig am(Fi) (N/mm ²)	Sig am (p) (N/mm ²)	Verifica (carichi indiretti)
C1_1	20\200	1.3	Non Fess.	----	18.72	188	160	----
C1_2	20\200	1.9	Non Fess.	----	18.72	188	160	----
C1_3	20\200	2.83	Non Fess.	----	18.72	188	160	----
C2_4	24\200	2.96	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C2_5	24\200	4.03	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C2_6	24\200	5.41	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C3_7	24\100	5.16	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C3_8	24\100	5.47	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C3_cracked_9	24\100	3.59	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C3_cracked_10	24\100	5.14	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C3_cracked_12	24\100	5.16	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C3_cracked_13	24\100	5.12	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C3_cracked_14	24\100	2.84	Non Fess.	----	22.46	171	240	----
C4_cracked_15	24\200	3.55	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C4_cracked_16	24\200	3.19	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C4_17	24\200	4.54	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C4_18	24\200	3.61	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C4_19	24\200	3.18	Non Fess.	----	22.46	171	160	----
C5_20	20\200	3.03	Non Fess.	----	18.72	188	160	----
C5_21	20\200	2.78	Non Fess.	----	18.72	188	160	----
C5_22	20\200	2.66	Non Fess.	----	18.72	188	160	----

9.3 CONTROLLO DELLA FESSURAZIONE PER CARICHI DIRETTI

La verifica a fessurazione, per carichi diretti, è eseguita secondo il seguente schema, calcolando la tensione nelle armature per la combinazione frequente delle azioni:

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

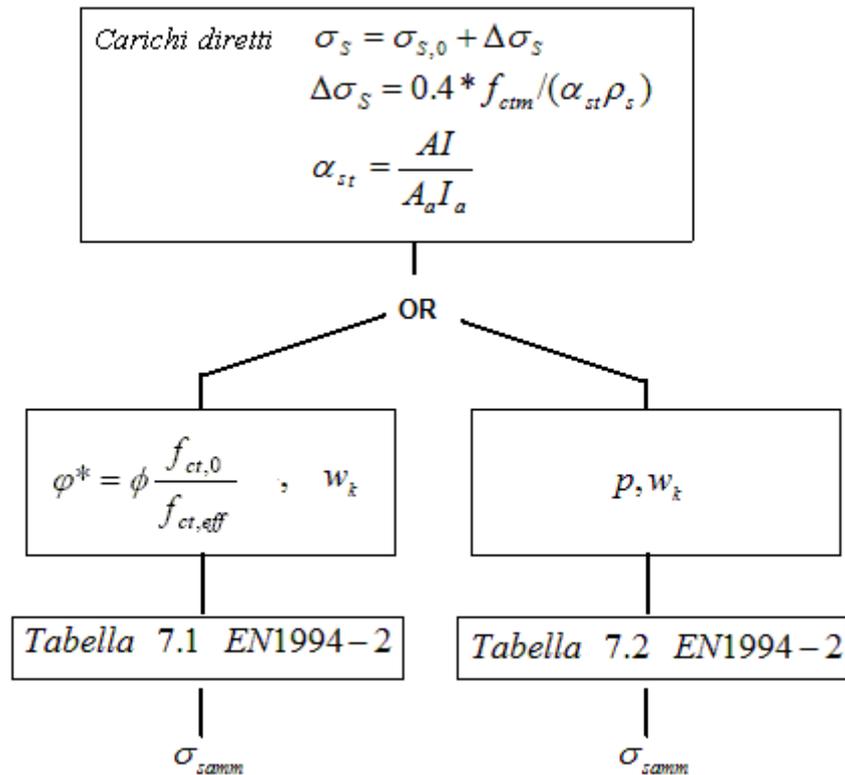


Tabella 9.2: Schema per la verifica a fessurazione per carichi diretti

Nella tabella in seguente si riportano i relativi risultati, con il seguente significato dei simboli utilizzati.

- fimax/pmax** diametro massimo/passo massimo in millimetri dell'armatura superiore ed inferiore della soletta
- Fi*** ϕ^* diametro massimo per ricavare dalla Tabella 7.1, EN 1994-2, 7.4.2 la tensione ammissibile **Sig am(Fi)**
- Sig am(Fi)** Tensione ammissibile che garantisce il controllo dell'ampiezza delle fessure al di sotto di w_k per un diametro Fi^* , ricavata dalla Tabella 7.1
- Sig am (p)** Tensione ammissibile che garantisce il controllo dell'ampiezza delle fessure al di sotto di w_k per un passo massimo p , ricavata dalla Tabella 7.2, EN 1994-2, 7.4.2
- Sigs max freq** Massima tensione nell'armatura per la combinazione SLE frequente
- Tension stiff.** Incremento di tensione per effetto del "Tension stiffening"
- Sgs+DSig** Tensione totale **Sigs max freq+ Tension stiff.**
- Verifica (carichi diretti)** Esito della verifica, che applica solo se la tensione massima rilevata nell'armatura è di trazione

Sezione	fimax/pmax	Fi* (mm)	Sig am(Fi) (N/mm ²)	Sig am (p) (N/mm ²)	Sigs max freq (N/mm ²)	Tension stiff. (N/mm ²)	Sgs+DSig	Verifica (carichi diretti)
C1_1	20\200	18.72	188	160	1	63	65	SI (0.34)
C1_2	20\200	18.72	188	160	16	60	76	SI (0.4)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sezione	fimax/pmax	Fi* (mm)	Sig am(Fi) (N/mm ²)	Sig am (p) (N/mm ²)	Sigs max freq (N/mm ²)	Tension stiff. (N/mm ²)	Sgs+DSig	Verifica (carichi diretti)
C1_3	20\200	18.72	188	160	40	59	99	SI (0.53)
C2_4	24\200	22.46	171	160	32	37	69	SI (0.41)
C2_5	24\200	22.46	171	160	57	37	94	SI (0.55)
C2_6	24\200	22.46	171	160	90	37	127	SI (0.74)
C3_7	24\100	22.46	171	240	49	17	67	SI (0.28)
C3_8	24\100	22.46	171	240	55	18	72	SI (0.3)
C3_cracked_9	24\100	22.46	171	240	55	18	72	SI (0.3)
C3_cracked_10	24\100	22.46	171	240	74	18	92	SI (0.38)
C3_cracked_12	24\100	22.46	171	240	74	18	92	SI (0.38)
C3_cracked_13	24\100	22.46	171	240	74	18	92	SI (0.38)
C3_cracked_14	24\100	22.46	171	240	45	18	63	SI (0.26)
C4_cracked_15	24\200	22.46	171	160	81	38	120	SI (0.7)
C4_cracked_16	24\200	22.46	171	160	74	38	112	SI (0.65)
C4_17	24\200	22.46	171	160	74	38	112	SI (0.65)
C4_18	24\200	22.46	171	160	59	38	96	SI (0.56)
C4_19	24\200	22.46	171	160	46	38	84	SI (0.49)
C5_20	20\200	18.72	188	160	48	64	112	SI (0.6)
C5_21	20\200	18.72	188	160	41	64	105	SI (0.56)
C5_22	20\200	18.72	188	160	38	64	102	SI (0.54)

10.VERIFICA SOLETTA IN CALCESTRUZZO

La soletta in calcestruzzo ha la primaria funzione di elemento di ripartizione delle azioni trasmesse dagli elementi giacenti sul piano stradale sugli elementi principali dell'ossatura metallica. Essa collabora inoltre alla statica longitudinale dell'impalcato, costituendo, tramite l'azione degli elementi di connessione, parte integrante della sezione resistente; questo comportamento è stato analizzato ai capitoli precedenti.

Nel presente capitolo si studia il comportamento della soletta nella sua funzione di elemento ripartitore, con particolare riferimento alla statica trasversale, ed al dimensionamento delle relative armature.

La soletta in calcestruzzo viene posta in opera con l'ausilio di "predalles" prefabbricate, formate da elementi al lastra in calcestruzzo, armati mediante tralici elettrosaldati, destinati a sostenere il getto del calcestruzzo.

Ai fini delle verifiche, si effettua il dimensionamento delle predalles, calibrando opportune fasi di getto allo scopo di limitare il quadro tensionali negli elementi resistenti della predalla, e di contenere le deformazioni permanenti indotte dal getto del calcestruzzo fresco.

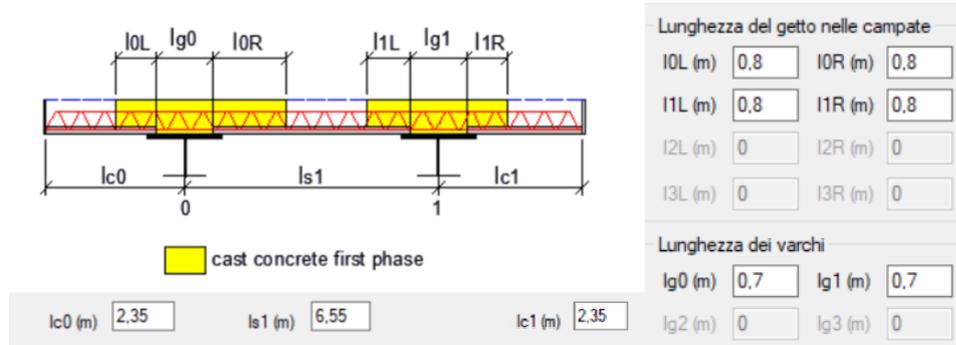
La verifica in esercizio della soletta verrà effettuata considerando lo spessore complessivo del getto + predalla, per un totale di 30 cm, trascurando cautelativamente la presenza delle armature longitudinali della predalla, ed ipotizzando l'azione del peso proprio direttamente sull'elemento finale.

Nei capitoli a seguire, si studia la statica trasversale della soletta.

10.1 VERIFICA DELLE PREDALLE

Il getto della soletta avverrà in due fasi:

- fase 1: viene gettata la zona in asse alle travi principali secondo lo schema che segue.



- fase 2: viene gettata la parte residua degli sbalzi della soletta.
- Fase 3 viene gettato il cordolo

Oltre al peso del getto, per uno spessore di 240 mm, ed al peso della predalle, si tiene conto dei seguenti ulteriori carichi:

Carichi permanenti e di servizio	
Incremento spessore calcestruzzo (mm)	0
Carico estremità sbalzo (Fase 1) (kN/m)	0
Carico estremità sbalzo (Fase 2) (kN/m)	1,75
Carico di servizio durante il getto (kN/mq)	1,5

La sezione trasversale delle predalle prefabbricate è riportata di seguito.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

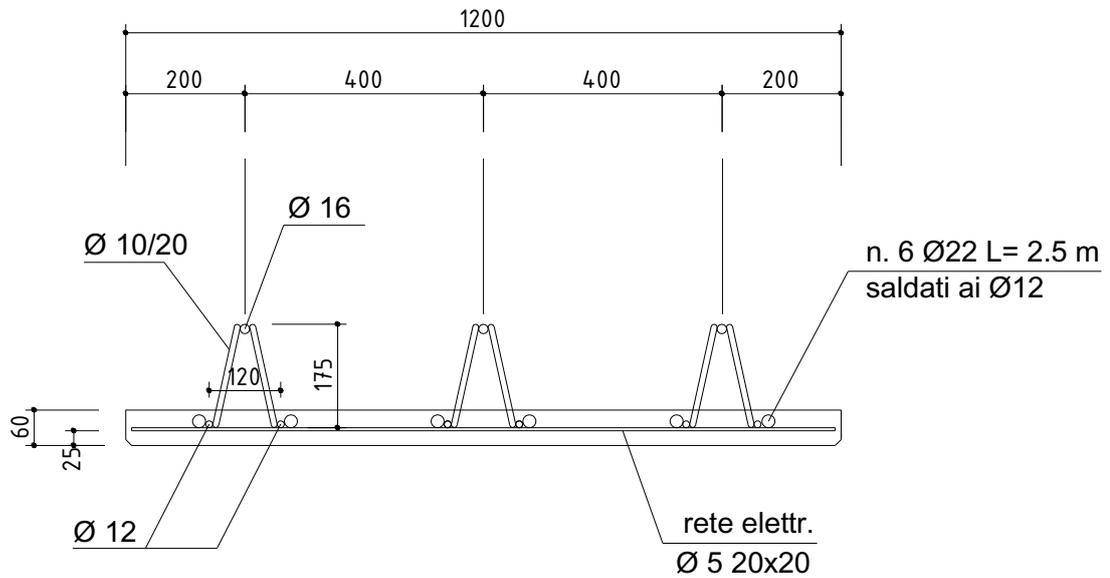


Figura 10.1: Sezione trasversale predalle

Il comportamento della predalle in fase 1 è stato schematizzato come trave semplicemente appoggiata, mentre in fase 2 si è ipotizzato un vincolo di incastro agli appoggi.

Nelle figure seguenti si riportano le sollecitazioni mediante diagrammi ed i coefficienti di utilizzo (u.r.) per le sezioni analizzate.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

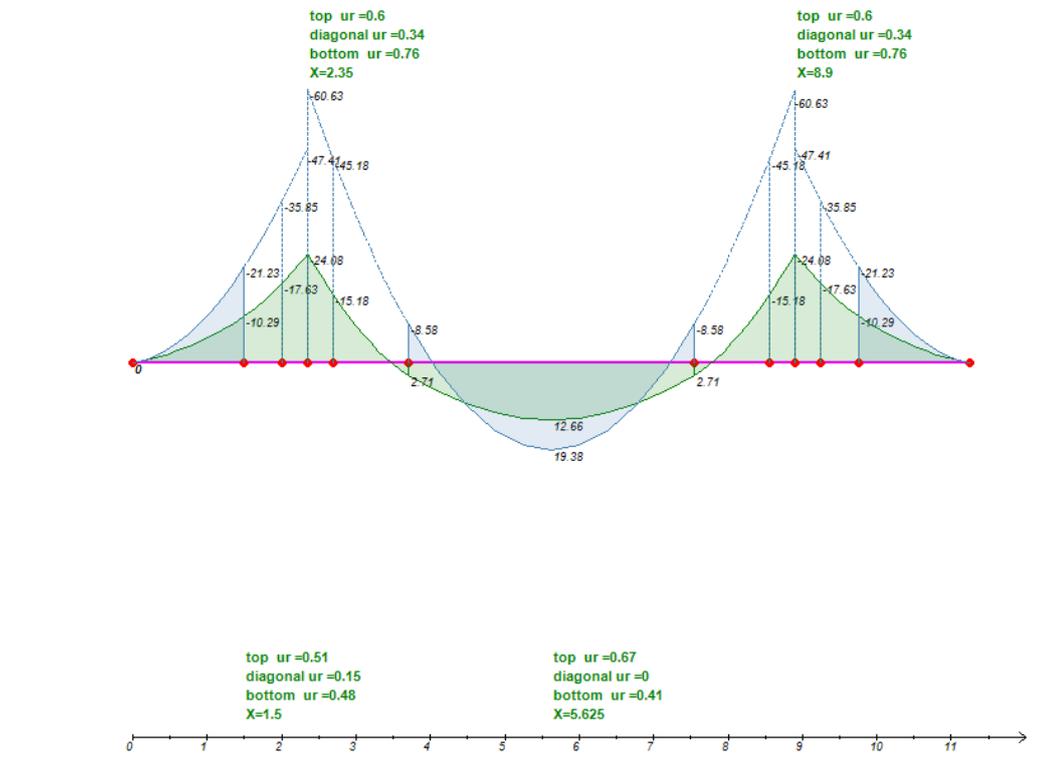


Figura 10.2: Diagrammi dei momenti flettenti nelle varie fasi e coefficienti di utilizzo

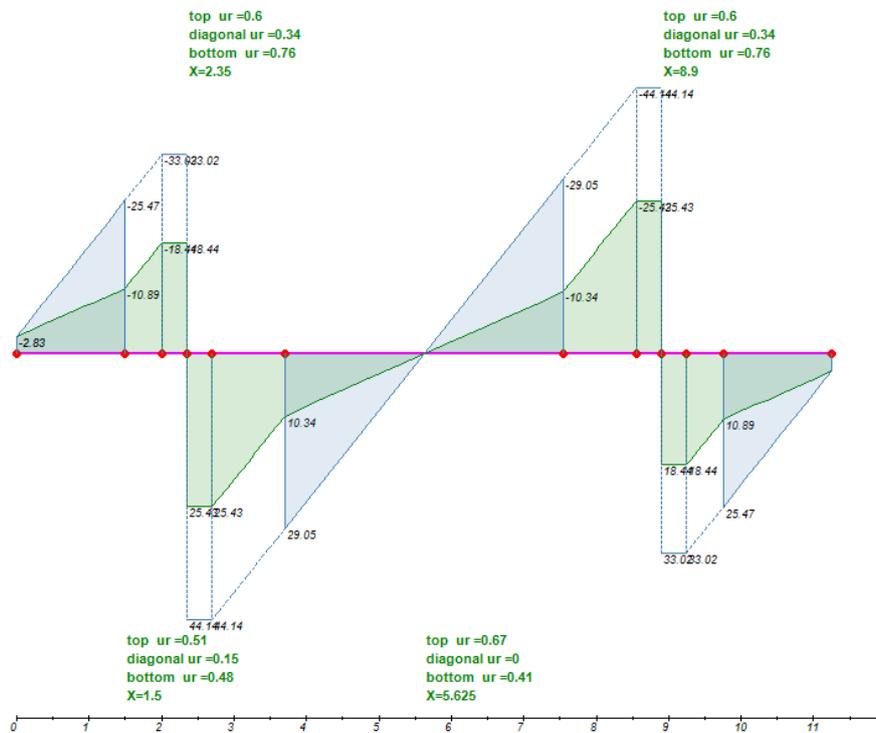
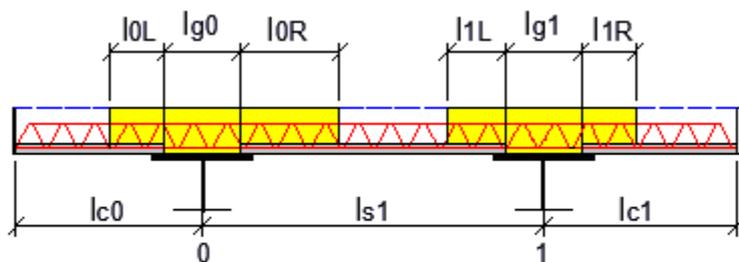


Figura 10.3: Diagrammi del taglio nelle varie fasi e coefficienti di utilizzo

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Seguono i tabulati con i dettagli del calcolo.

GEOMETRIA



 cast concrete first phase

Numero di sbalzi: 2
 Numero di campate: 1
 Luce della campata 1: $ls1=6,55$ m
 Lunghezza dello sbalzo di sinistra: $lc0=2,35$ m
 Lunghezza dello sbalzo di destra: $lc1=2,35$ m
 Varco tra le predelle su appoggio 0: $lg0=0,7$ m
 Varco tra le predelle su appoggio 1: $lg1=0,7$ m
 Tipologia di getto in 1^ fase: Getto del calcestruzzo in corrispondenza degli appoggi
 Lunghezza del getto a SX dell'appoggio 0: $l0L=0,8$ m
 Lunghezza del getto a DX dell'appoggio 0: $l0R=0,8$ m
 Lunghezza del getto a SX dell'appoggio 1: $l1L=0,8$ m
 Lunghezza del getto a DX dell'appoggio 1: $l1R=0,8$ m

PREDALLE

Spessore della predalle: $hcf=60$ mm
 Larghezza della predalle: $wpred=1200$ mm
 Numero di tralicci: $Nt=3$
 Altezza fuori tutto del traliccio: $htot=175$ mm
 Diametro delle barre del corrente superiore: $dtop=16$ mm
 Diametro delle barre del corrente inferiore: $dbot=12$ mm
 Diametro delle barre diagonali: $ddiag=10$ mm
 Passo degli elementi diagonali: $sdiag=200$ mm
 Interasse fra le barre del corrente inferiore: $sdbot=120$ mm
 Lunghezza delle saldature sul corrente superiore: $lwt=10$ mm
 Lunghezza delle saldature sul corrente inferiore: $lwb=10$ mm
 Copriferro: $c=25$ mm
 Numero di barre aggiuntive agli appoggi (intera predalle): $Nab=6$
 Diametro delle barre aggiuntive: $dab=22$ mm
 Momento di inerzia flessionale delle predalle: $Jypred=1,157E+8$ mm⁴ ($yG=37,68$ mm)
 Momento di inerzia flessionale della soletta: $Jyslab=2,7E+9$ mm⁴

MATERIALI

ACCIAIO
 Tensione di snervamento caratteristica: $fyk=450$ N/mm²
 Coefficiente di sicurezza per la resistenza: $\gamma_{M0}=1,05$
 Coefficiente di sicurezza per la stabilita': $\gamma_{M1}=1,1$

CARICHI CARATTERISTICI

Peso predalle: $1,978$ kN/m
 Spessore del getto: $hcc=240$ mm
 Sovrasspessore del getto: $Dhcc=0$ mm
 Peso totale del getto: $7,2$ kN/m
 Carico di estremità sbalzo in fase 1: 0 kN/m
 Carico di estremità sbalzo in fase 2: $1,75$ kN/m
 Sovraccarico accidentale in esecuzione: $1,5$ kN/m² => $1,8$ kN/m

Deduzione del peso del getto dai varchi: SI

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

Coeff. per carichi permanenti: 1,35 (SLU)

Coeff. per carichi di servizio: 1,5 (SLU)

Coeff. per carichi permanenti: 1 (SLS)

Coeff. per carichi di servizio: 1 (SLS)

VERIFICA SLU PER SEZIONE APPOGGIO 0

Coefficiente di utilizzo del corrente superiore: 0,504

Coefficiente di utilizzo dei diagonali: 0,316

Coefficiente di utilizzo del corrente inferiore: 0,638

SOLLECITAZIONI

Momento flettente ME_d = -20,333 kNm (Intera predalle)

Taglio VE_d = 23,486 kN (Intera predalle)

Ascissa X = 2,35 m

DETTAGLI CORRENTE SUPERIORE

Sforzo di trazione agente NE_d = 43,447 kN

Sforzo normale resistente a trazione NtR_d=NpIR_d= 86,169 kN rif. EN 1993-1-1 6.2.3 (6.6)

DETTAGLI DIAGONALE

Sforzo di compressione agente NE_d = -4,701 kN

Sforzo normale resistente a compressione NbR_d = 14,895 kN rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)

Coefficiente chi = 0,464

Coefficiente fi = 1,38 rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)

Lunghezza libera di inflessione l₀ = 193,352 mm

Snellezza adimensionale lambda_{dasgn} = 1,14

Fattore di imperfezione (curva c) alfa = 0,49 rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1

Carico critico elastico N_{cr} = 27,214 kN

DETTAGLI CORRENTE INFERIORE

Strato di armature efficaci: Barre aggiuntive

Sforzo di compressione agente NE_d = -21,724 kN

Sforzo normale resistente a compressione NbR_d = 34,044 kN rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)

Coefficiente chi = 0,219

Coefficiente fi = 2,669 rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)

Lunghezza libera di inflessione l₀ = 700 mm

Snellezza adimensionale lambda_{dasgn} = 1,875

Fattore di imperfezione (curva c) alfa = 0,49 rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1

Carico critico elastico N_{cr} = 48,639 kN

VERIFICA SLU PER SEZIONE APPOGGIO 1

Coefficiente di utilizzo del corrente superiore: 0,504

Coefficiente di utilizzo dei diagonali: 0,316

Coefficiente di utilizzo del corrente inferiore: 0,638

SOLLECITAZIONI

Momento flettente ME_d = -20,333 kNm (Intera predalle)

Taglio VE_d = 23,486 kN (Intera predalle)

Ascissa X = 8,9 m

DETTAGLI CORRENTE SUPERIORE

Sforzo di trazione agente NE_d = 43,447 kN

Sforzo normale resistente a trazione NtR_d=NpIR_d= 86,169 kN rif. EN 1993-1-1 6.2.3 (6.6)

DETTAGLI DIAGONALE

Sforzo di compressione agente NE_d = -4,701 kN

Sforzo normale resistente a compressione NbR_d = 14,895 kN rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)

Coefficiente chi = 0,464

Coefficiente fi = 1,38 rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)

Lunghezza libera di inflessione l₀ = 193,352 mm

Snellezza adimensionale lambda_{dasgn} = 1,14

Fattore di imperfezione (curva c) alfa = 0,49 rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1

Carico critico elastico N_{cr} = 27,214 kN

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

DETTAGLI CORRENTE INFERIORE

Sforzo di armature efficaci: Barre aggiuntive
Sforzo di compressione agente NEd = -21,724 kN
Sforzo normale resistente a compressione NbRd = 34,044 kN rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)
Coefficiente $\chi = 0,219$
Coefficiente $\eta = 2,669$ rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)
Lunghezza libera di inflessione $l_0 = 700$ mm
Snellezza adimensionale $\lambda_{\text{dasgn}} = 1,875$
Fattore di imperfezione (curva c) $\alpha = 0,49$ rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1
Carico critico elastico Ncr = 48,639 kN

VERIFICA SLU PER SEZIONE CAMPATA (MEd max)

Coefficiente di utilizzo del corrente superiore: 0,76
Coefficiente di utilizzo dei diagonali: 0
Coefficiente di utilizzo del corrente inferiore: 0,467

SOLLECITAZIONI

Momento flettente MEd = 21,889 kNm (Intera predalle)
Taglio VEd = 0 kN (Intera predalle)
Ascissa X = 5,625 m

DETTAGLI CORRENTE SUPERIORE

Sforzo di compressione agente NEd = -45,318 kN
Sforzo normale resistente a compressione NbRd = 59,612 kN rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)
Coefficiente $\chi = 0,725$
Coefficiente $\eta = 0,867$ rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)
Lunghezza libera di inflessione $l_0 = 190$ mm
Snellezza adimensionale $\lambda_{\text{dasgn}} = 0,7$
Fattore di imperfezione (curva c) $\alpha = 0,49$ rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1
Carico critico elastico Ncr = 184,698 kN

DETTAGLI DIAGONALE

Sforzo di trazione agente NEd = 0 kN
Sforzo normale resistente a trazione NtRd=NpIRd= 33,66 kN rif. EN 1993-1-1 6.2.3 (6.6)

DETTAGLI CORRENTE INFERIORE

Sforzo di trazione agente NEd = 22,659 kN
Sforzo normale resistente a trazione NtRd=NpIRd= 48,47 kN rif. EN 1993-1-1 6.2.3 (6.6)

VERIFICA SLU PER SEZIONE CAMPATA (MEd min)

Coefficiente di utilizzo del corrente superiore: 0,343
Coefficiente di utilizzo dei diagonali: 0,281
Coefficiente di utilizzo del corrente inferiore: 0,319

SOLLECITAZIONI

Momento flettente MEd = -14,267 kNm (Intera predalle)
Taglio VEd = 20,944 kN (Intera predalle)
Ascissa X = 10,05 m

DETTAGLI CORRENTE SUPERIORE

Sforzo di trazione agente NEd = 29,539 kN
Sforzo normale resistente a trazione NtRd=NpIRd= 86,169 kN rif. EN 1993-1-1 6.2.3 (6.6)

DETTAGLI DIAGONALE

Sforzo di compressione agente NEd = -4,192 kN
Sforzo normale resistente a compressione NbRd = 14,895 kN rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)
Coefficiente $\chi = 0,464$
Coefficiente $\eta = 1,38$ rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)
Lunghezza libera di inflessione $l_0 = 193,352$ mm
Snellezza adimensionale $\lambda_{\text{dasgn}} = 1,14$
Fattore di imperfezione (curva c) $\alpha = 0,49$ rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1
Carico critico elastico Ncr = 27,214 kN

DETTAGLI CORRENTE INFERIORE

Sforzo di compressione agente NEd = -14,77 kN

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sforzo normale resistente a compressione $N_{bRd} = 46,267 \text{ kN}$ rif. EN 1993-1-1 6.3.1.1 (6.47)
Coefficiente $\chi_i = 1$
Coefficiente $\eta_i = 0,451$ rif. EN 1993-1-1 6.3.1.2(4)
Lunghezza libera di inflessione $l_0 = 0 \text{ mm}$
Snellezza adimensionale $\lambda_{\text{ad}} = 0$
Fattore di imperfezione (curva c) $\alpha = 0,49$ rif. EN 1993-1-1 Tabella 6.1
Carico critico elastico $N_{cr} = +\text{Infinito kN}$

SPOSTAMENTI (SLS)

FASE 1

Spostamento minimo $= -0,8 \text{ mm}$, $X = 1,36 \text{ m}$
Spostamento massimo $= 8,8 \text{ mm}$, $X = 5,625 \text{ m}$

FASE 1 + FASE 2 (Rotazione agli appoggi bloccata)

Spostamento minimo $= 0 \text{ mm}$, $X = 0 \text{ m}$
Spostamento massimo $= 0 \text{ mm}$, $X = 0 \text{ m}$

10.2 VERIFICA IN FASE DI ESERCIZIO

Per il calcolo statico della soletta è stato sviluppato un modello locale con elementi shell, considerandone una porzione di lunghezza 20 m.

All'interfaccia soletta-travi principali viene introdotto un vincolo di appoggio.

Vengono studiate due sezioni trasversali dell'impalcato:

- Sezione di "bordo"
- Sezione "corrente"

In queste sezioni vengono analizzati i punti:

- in asse alla trave longitudinale dove si prevede il "massimo" momento flettente positivo
- in campata fra le due travi longitudinali dove si prevede il "minimo" momento flettente negativo

Di seguito si riporta una figura della geometria del modello.

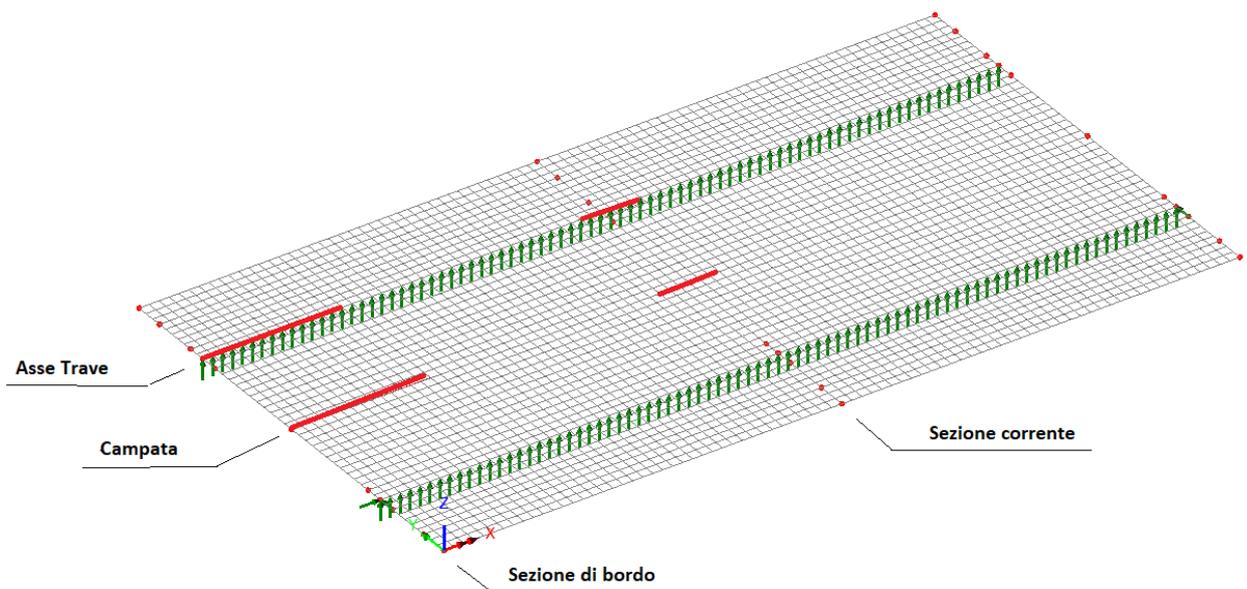


Figura 10.4: Geometria del modello con i vincoli ed evidenziati i punti oggetto di analisi

10.2.1 Analisi dei carichi

Ai fini del calcolo delle sollecitazioni locali, si è tenuto conto dei seguenti contributi di carico

Pesi propri

Si è tenuto conto del peso proprio della soletta in calcestruzzo, di spesso pari a 30 cm.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Ai fini delle verifiche locali, si considera il peso proprio della soletta agire direttamente sull'elemento, inteso monolitico, di spessore complessivo di 30 cm, trascurando a favore di sicurezza la fasizzazione.

Sovraccarichi permanenti

Si sono considerati i medesimi contributi di carico assunti per la verifica globale dell'impalcato, rimandando, per ulteriori dettagli al capitolo specifico.

Azioni variabili da traffico

Si sono considerati i modelli di carico previsti dalla vigente normativa, ovvero i carichi dello schema LM1 ed LM2 posizionati in modo da determinare i momenti flettenti minimi in campata ed il momento flettente massimo in asse trave longitudinale, sia nella zona di bordo che nella zona corrente della soletta. Per l'LM1 il software, in base alle superfici di influenza, determina automaticamente le posizioni dei carichi più sfavorevoli; per LM2 vengono considerate le 3 seguenti posizioni possibili in zona corrente e di bordo:

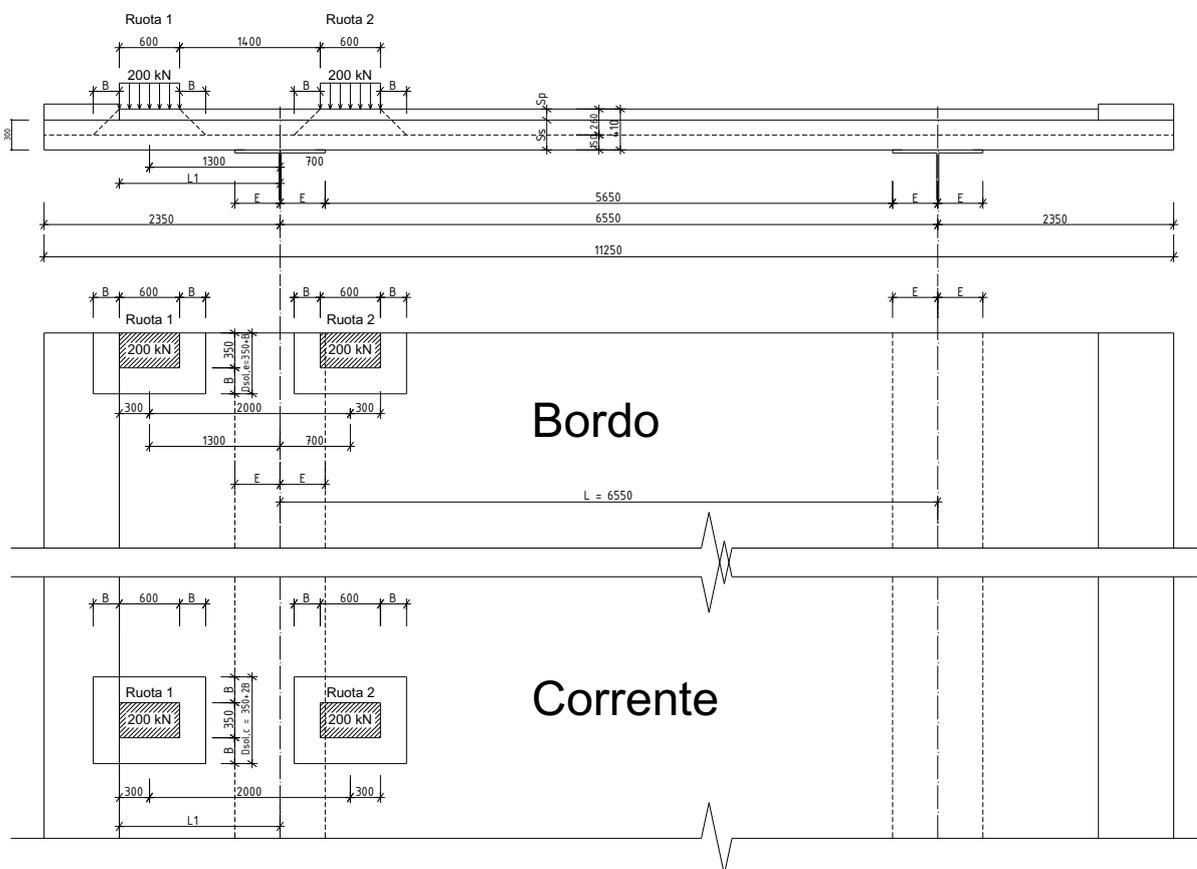


Figura 10.5: Pos. 1 carico da traffico LM2 per calcolo azioni flettenti

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

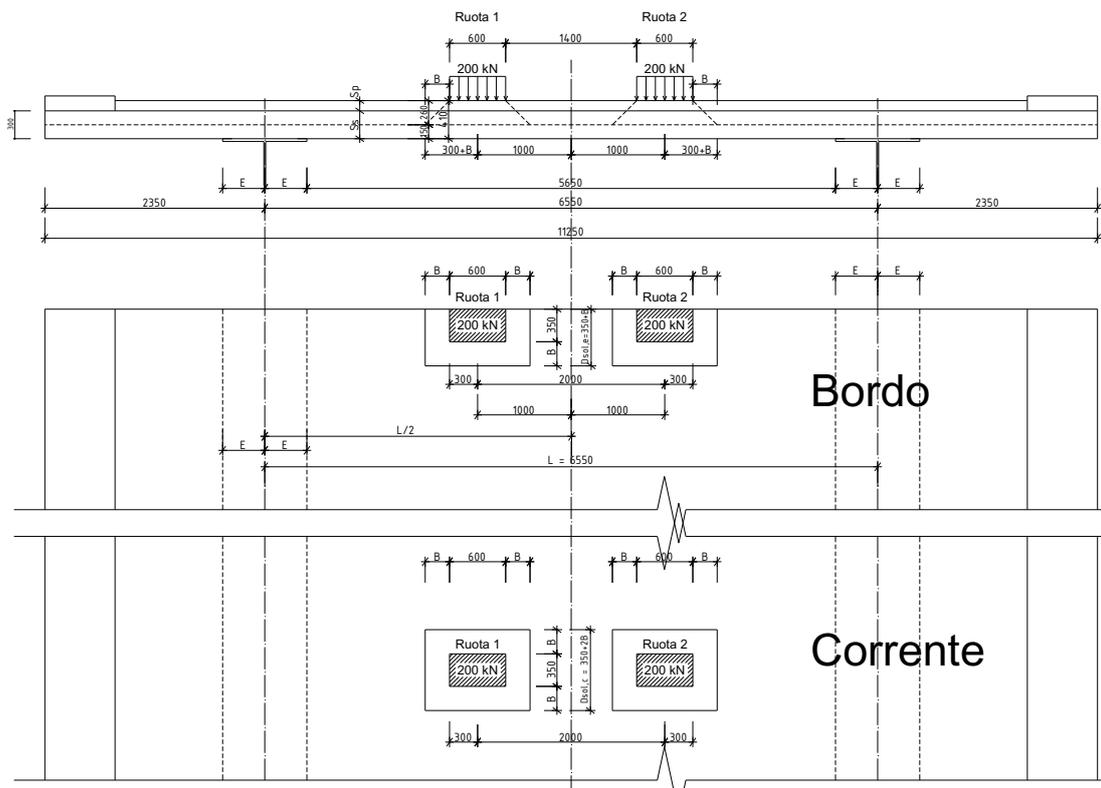


Figura 10.6: Pos. 2 carico da traffico LM2 per calcolo azioni flettenti

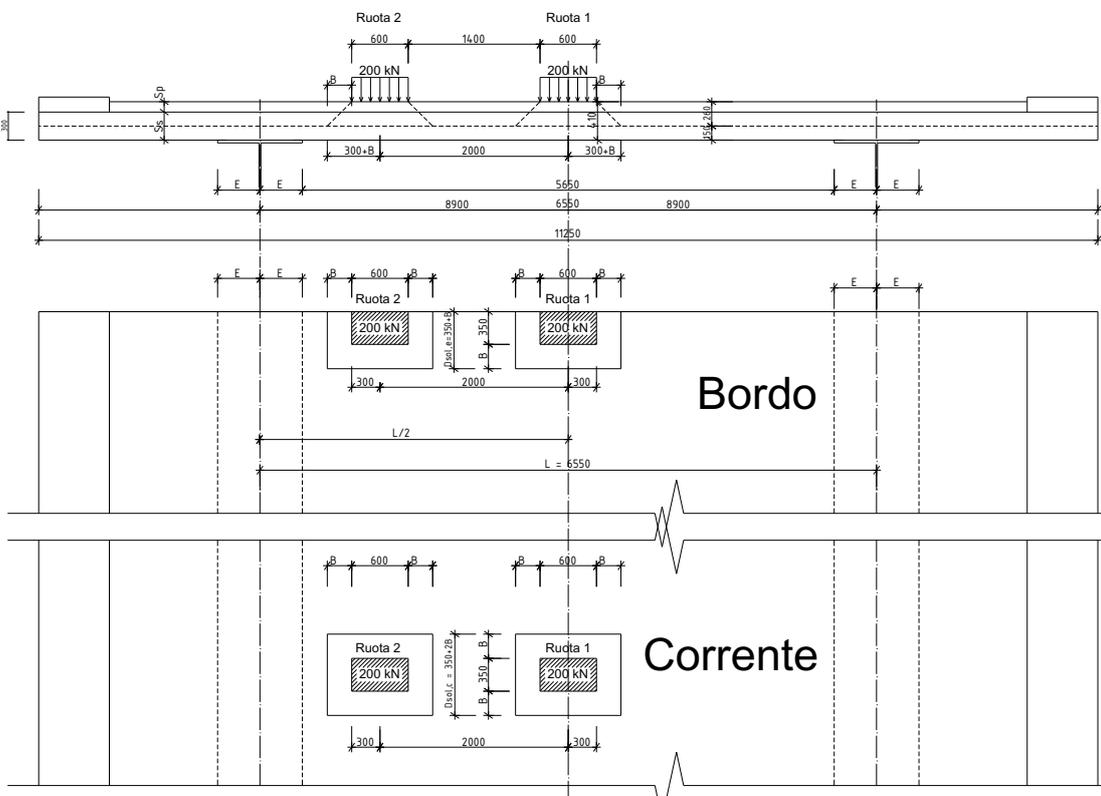


Figura 10.7: Pos. 3 carico da traffico LM2 per calcolo azioni flettenti

Azione del vento sugli elementi marginali

Si è considerata l'azione del vento agente in direzione trasversale (+/-Y) su veicolo, a ponte carico (Vento_Y), applicato nel seguente modo:

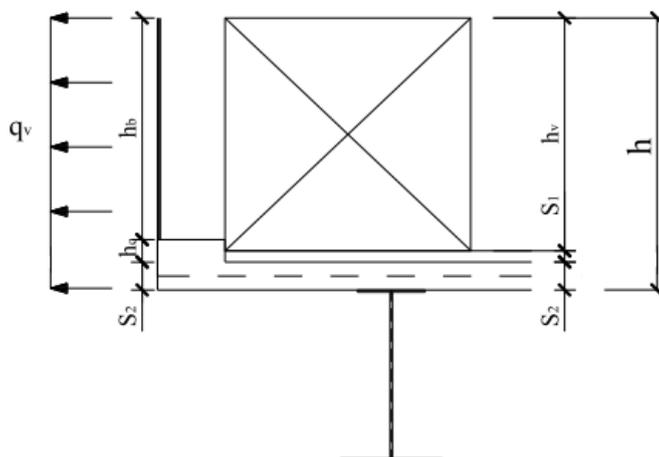


Figura 10.8: Altezze di calcolo per il vento

Nel presente caso l'altezza della sagoma del veicolo è dominante per cui il vento, avente una intensità di 2.13 kN/m^2 , viene applicato su una altezza $h = h_v + S_1 + S_2 = 3 + 0.11 + 0.3 = 3.41 \text{ m}$; il momento risultante viene applicato alla punta della soletta, la forza risultante di entità inferiore ai 10 kN/m viene trascurata.

Urto

Si è valutato l'effetto indotto sulla soletta da parte dell'urto dei veicoli sulla barriera di sicurezza.

Tale effetto è stato valutato sia in asse alla sezione "corrente" sia in corrispondenza del "bordo" della porzione di soletta, ed è simulato attraverso l'introduzione di azioni concentrate di entità pari a $100 / 50 \text{ kN}$ applicate con le modalità indicate in figura:

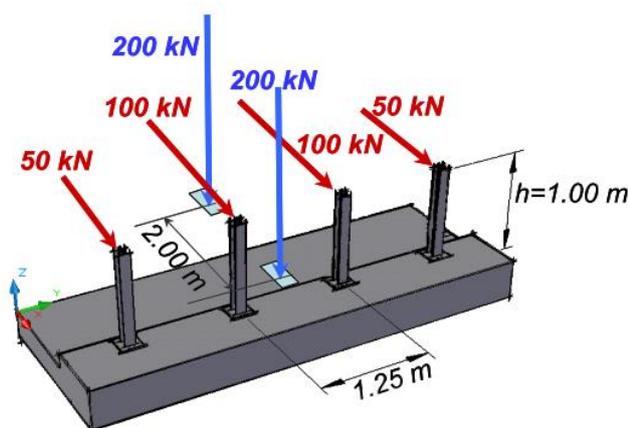


Figura 10.9: Schema di azioni per l'urto dei veicoli

Le suddette condizioni di carico elementari sono state combinate con i coefficienti di cui al paragrafo 5 per il calcolo delle sollecitazioni di progetto di Stato limite ultimo e di esercizio.

In particolare, si è assunta, nella condizione di urto, la presenza concomitante di un asse del veicolo LM2 accostato al cordolo laterale.

Le azioni variabili da traffico sono state inoltre amplificate di un coefficiente dinamico pari ad 1.3 in corrispondenza della zona di bordo.

10.2.2 Sollecitazioni di calcolo allo SLU e allo SLE

Le sollecitazioni di momento per unità di lunghezza presenti sul modello FEM nella sezione "corrente" vengono integrate in favore di sicurezza su una sezione di larghezza pari ad 1,25 metri (pari all'interasse dei montanti della barriera)

Le sollecitazioni di momento per unità di lunghezza presenti sul modello FEM nella sezione di "bordo" vengono integrate, in accordo a quanto previsto dalle linee guida ANAS, su una larghezza di 350 cm, pari alla larghezza lorda del carico LM1 ($A=160$ cm) + la larghezza di diffusione del carico fino alla mezzeria della soletta ($B=11$ pavim. + 15 metà soletta= 26 cm) + $\frac{1}{4}$ della luce L fra le travi longitudinali ($C=655/4=164$ cm).

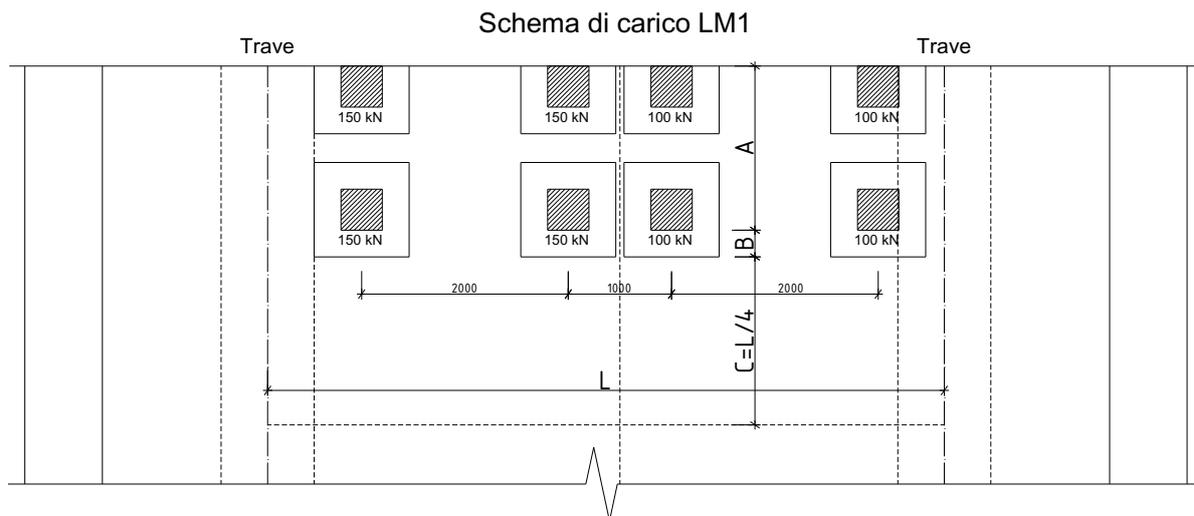


Figura 10.10: Schema per individuare la larghezza di integrazione, per la verifica a flessione delle sezioni di "bordo"

Le massime sollecitazioni di taglio lato sbalzo e lato campata, vengono invece ricavate da modelli analitici, posizionando le impronte dei carichi concentrati più gravosi diffusi a 45° fino a metà della soletta, nelle posizioni più vicine possibili al filo dell'ala della piattabanda superiore assunta come sezione di verifica.

La verifica a taglio viene effettuata nella sezione "corrente" e in quella di "bordo"; il taglio in questa ultima è sicuramente più grande di quello nella sezione "corrente" dove la larghezza di redistribuzione degli stessi carichi è più grande e non è applicata l'amplificazione dinamica.

Il filo della piattabanda superiore della trave in acciaio, è posizionato ad $E=45$ cm dall'asse della trave, verso lo sbalzo o la campata; la verifica viene effettuata nella sezione più sollecitata fra le due.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Nel presente caso la sezione più sollecitata è quella di destra, lato campata, con carico LM1 posizionato con due corsie fra le travi, con l'asse 1 della corsia 1 posizionato a filo ala, lato campata.

Le sollecitazioni di taglio al metro lineare derivano dalla distanza di ogni gruppo di carichi dalla sezione di verifica, come indicato nelle Linee guida Anas.

Ad esempio per l'asse 1 del carico tandem, il più vicino alla sezione di "bordo" di verifica, la lunghezza su cui la azione si ridistribuisce, è pari a $F1=232$ cm, pari alla larghezza lorda del carico LM1 ($A=160$ cm) + la larghezza di diffusione del carico fino alla mezzera della soletta ($B=11$ pavim. + 15 metà soletta= 26 cm) + distanza dell'asse del tandem dalla sezione di verifica ($D=46$ cm), analogamente si ricavano le lunghezze F_i su cui si ridistribuisce l'azione di taglio .

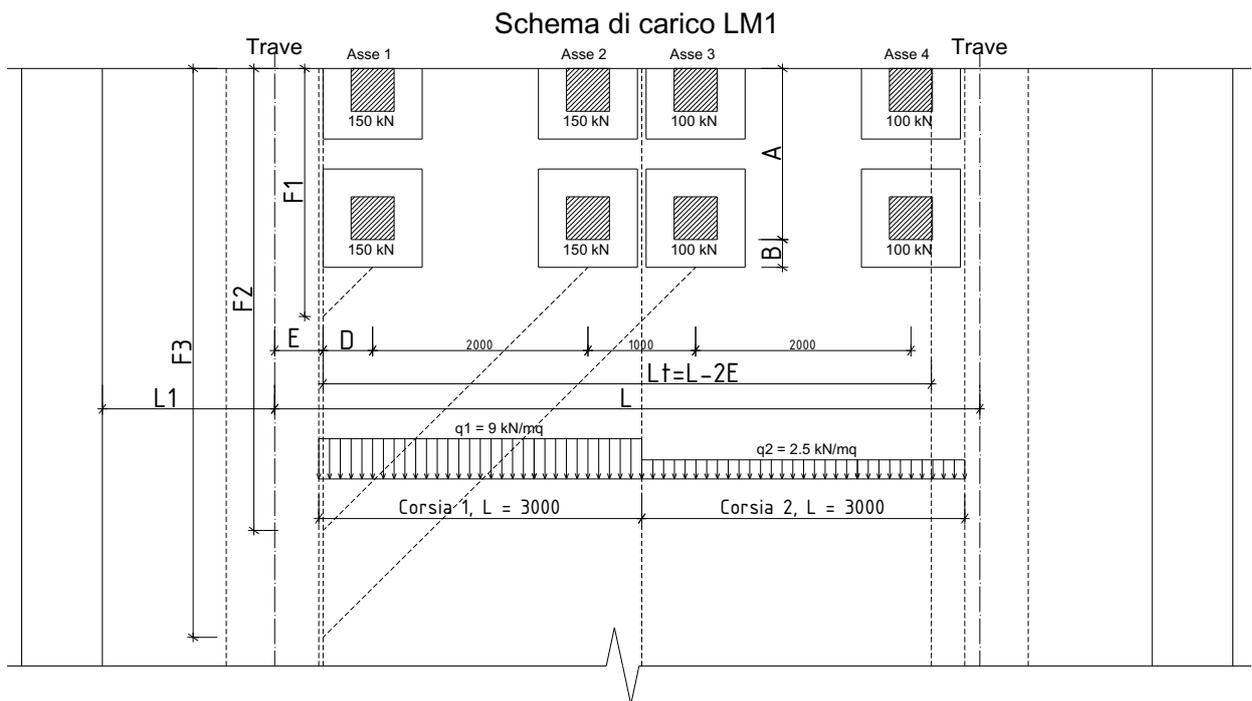


Figura 10.11: Schema per individuare la larghezza di distribuzione della azioni, per la verifica a taglio delle sezioni di "bordo"

Di seguito il calcolo del taglio sollecitante massimo $F_z (=V_{Ed})$ in appoggio, lato campata, derivante dal carico LM1 in campata, per la sezione di "bordo" e per la sezione "corrente" (il contributo dell'asse 4 risulta trascurabile).

Luce di taglio $L_t =$												
	Q_{ik} (kN)	Dist. da app. d (m)	A (m)	B (m)	D (m)	F_i (m)	$Q_{ik} * (L-d) / F_i$	cd	γ SLU	SLU	T SLU (kN/m)	
Tandem asse 1	300	0.46	1.6	0.26	0.46	2.32	118.78 kN/m	1.3	1.35	160.36	208.46	
Tandem asse 2	300	2.46	1.6	0.26	2.46	4.32	39.21 kN/m	1.3	1.35	52.93	68.81	
Tandem asse 3	200	3.46	1.6	0.26	3.46	5.32	14.57 kN/m	1.3	1.35	19.67	25.57	
UDL 1	26.6	1.48					19.66 kN/m	1.3	1.35	26.54	34.51	
UDL 2	6.7	4.305					1.60 kN/m	1.3	1.35	2.16	2.81	
T perm							28.65 kN/m	1	1.35	38.67	38.67	
T totale										300.34	378.83	

Tabella 10.1: Calcolo taglio massimo sezione di bordo

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Luce di taglio Lt=		5.65 m										
	Q_{ik} (kN)	Dist. da app. d (m)	A (m)	2B (m)	2D (m)	F_i (m)	$Q_{ik}*(L-d)/L/F_i$	cd	γ SLU	SLU	T SLU (kN/m)	
Tandem asse 1	300	0.46	1.6	0.52	0.92	3.04	90.65 kN/m	1	1.35	122.38	122.38	
Tandem asse 2	300	2.46	1.6	0.52	4.92	7.04	24.06 kN/m	1	1.35	32.48	32.48	
Tandem asse 3	200	3.46	1.6	0.52	6.92	9.04	8.58 kN/m	1	1.35	11.58	11.58	
UDL 1	26.6	1.48					19.66 kN/m	1	1.35	26.54	26.54	
UDL 2	6.7	4.305					1.60 kN/m	1	1.35	2.16	2.16	
T perm							28.65 kN/m	1	1.35	38.67	38.67	
T totale										233.81	233.81	

Tabella 10.2: Calcolo taglio massimo sezione corrente

I carichi da traffico LM2 posizionati sullo sbalzo determinano un taglio inferiore rispetto al carico LM1 posizionato in campata.

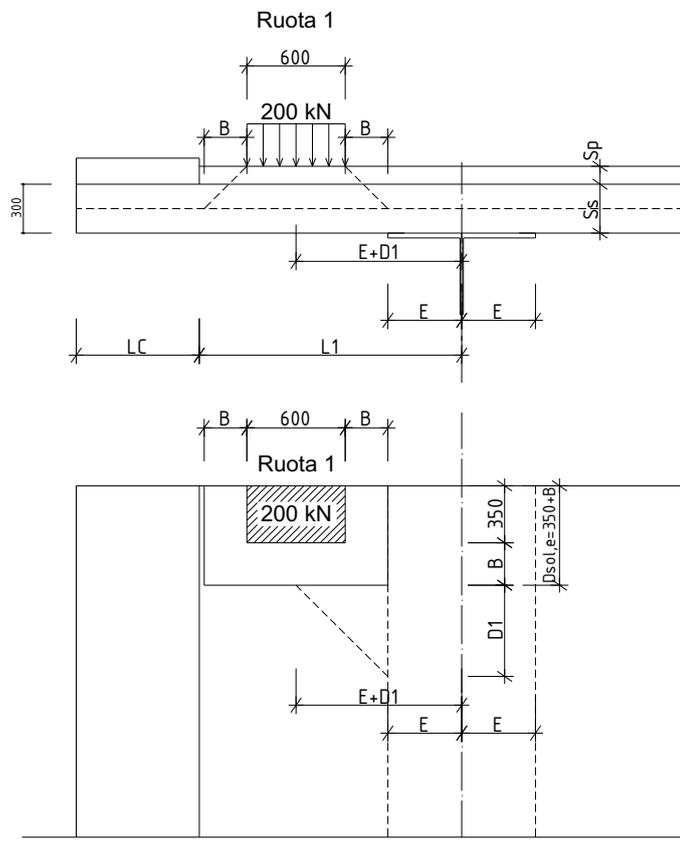


Figura 10.12: Schema di carico per il calcolo del taglio massimo in appoggio, lato sbalzo

Si ha in questo caso un taglio massimo pari a 332.45 kN/m (< 378.83 kN/m) nella zona di bordo (considerando nell'ordine carico ruota, soletta, pavimentazione, cordolo, barriera, veletta):

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$$V_{Ed} = [(Q_k * cd / (D1 + B + 0.35)) + (p_{sol} * (Lc + L1 - E)) + (p_{pav} * (L1 - E)) + (p_{cord} * Lc) + p_{barr} + p_{vel}] * \gamma_{SLU}$$

B [m]	D1 [m]	Lc [m]	L1 [m]	E [m]	cd	
0.26	0.56	0.75	1.60	0.45	1.3	
Q _k [kN]	p _{sol} [kN/m ²]	p _{pav} [kN/m ²]	p _{cord} [kN/m ²]	p _{barr} [kN/m]	p _{vel} [kN/m]	
200.00	7.50	2.64	4.00	2.00	1.75	
Tk (kN/m)	γ SLU	V _{Ed,SLU} (kN/m)				
246.26	1.35	332.45				

Nella zona corrente si ha invece:

$$V_{Ed} = [(Q_k / (2 * D1 + 2 * B + 0.35)) + (p_{sol} * (Lc + L1 - E)) + (p_{pav} * (L1 - E)) + (p_{cord} * Lc) + p_{barr} + p_{vel}] * \gamma_{SLU}$$

2B [m]	2D1 [m]	Lc [m]	L1 [m]	E [m]	cd	
0.52	1.12	0.75	1.60	0.45	1	
Q _k [kN]	p _{sol} [kN/m ²]	p _{pav} [kN/m ²]	p _{cord} [kN/m ²]	p _{barr} [kN/m]	p _{vel} [kN/m]	
200.00	7.50	2.64	4.00	2.00	1.75	
Tk (kN/m)	γ SLU	V _{Ed,SLU} (kN/m)				
124.54	1.35	168.13				

Nella tabella seguente vengono riportati i valori delle sollecitazioni massime, agenti su sezioni larghe 1 m, derivanti dalle operazioni descritte in precedenza; per il taglio viene riportato il valore massimo fra la sezione in appoggio trave lato sbalzo e lato campata.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sezione \ fascia		Sforzo normale Fx [kN] (+ traz.)	Taglio Fz [kN]	Momento My [kN*m]	Soll. ricavate integrando sez. di larghezza (m)
SLU fond.	Appoggio \ corrente	-	233.81	186.79	1.25 (solo momento)
	Appoggio \ bordo	-	378.83	248.20	3.5 (solo momento)
	Campata \ corrente	-	-	-202.42	1.25
	Campata \ bordo	-	-	-358.00	3.5
SLU eccez..	Appoggio \ corrente	54.62	-	213.17	1.25
	Appoggio \ bordo	71.34	-	217.98	3.5
SLE caratt.	Appoggio \ corrente	-	-	137.54	1.25
	Appoggio \ bordo	-	-	183.03	3.5
	Campata \ corrente	-	-	-148.67	1.25
	Campata \ bordo	-	-	-263.77	3.5
SLE freq.	Appoggio \ corrente	-	-	102.47	1.25
	Appoggio \ bordo	-	-	135.60	3.5
	Campata \ corrente	-	-	-100.14	1.25
	Campata \ bordo	-	-	-182.54	3.5

Tabella 10.3: Sollecitazioni di progetto nei vari SL

Nelle immagini di seguito, si riportano le mappature delle sollecitazioni per unità di lunghezza (momenti in N*m/m, sforzi assiali in N/m) per una generica fascia "corrente" di soletta.

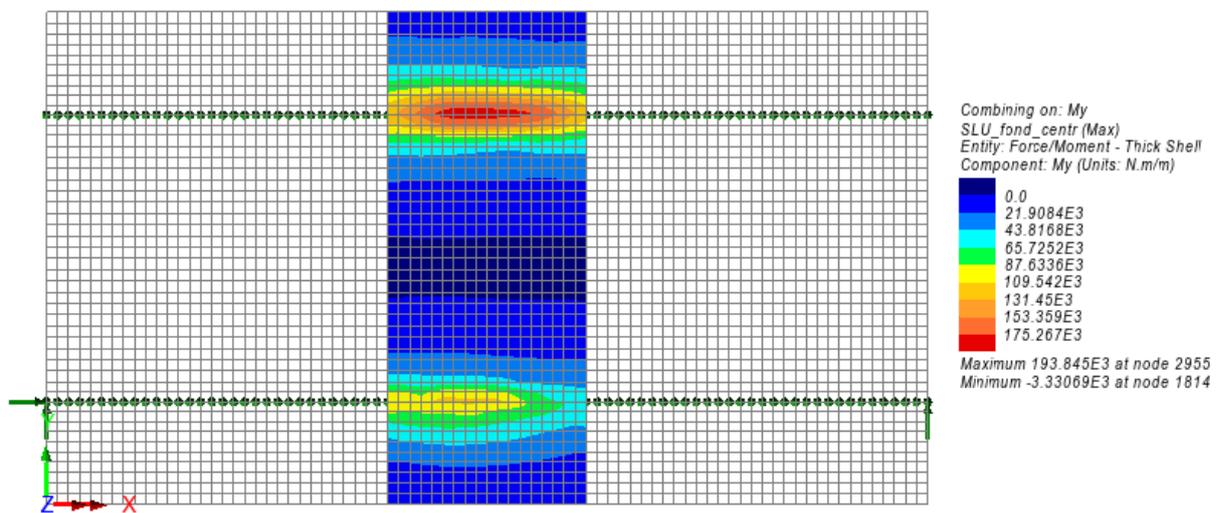


Figura 10.13: SLU fondamentale – Momento My (max)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

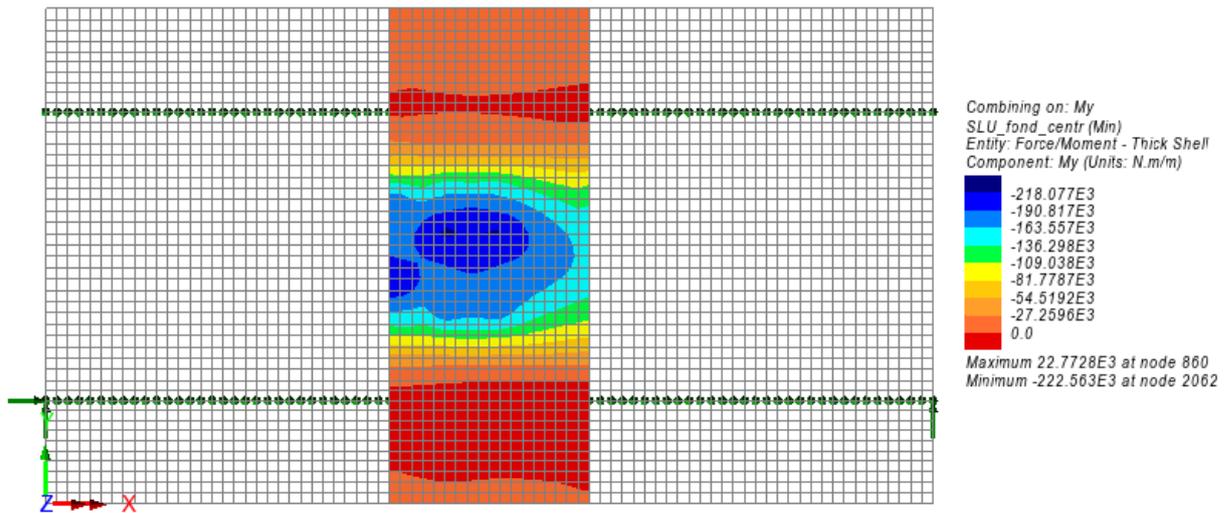


Figura 10.14: SLU fondamentale – Momento My (min)

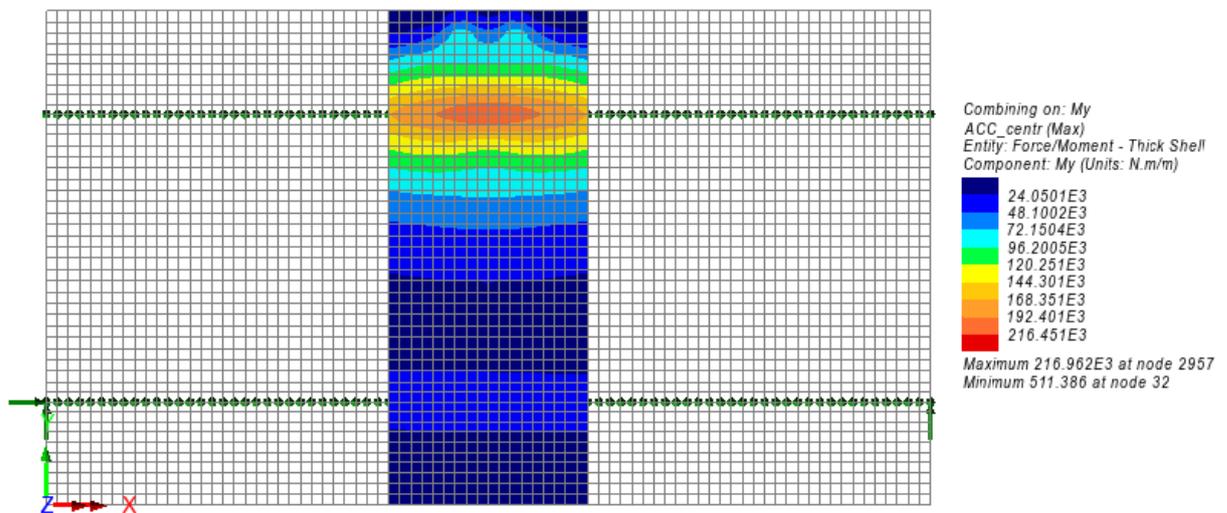


Figura 10.15: SLU eccezionale – Momento My (max)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

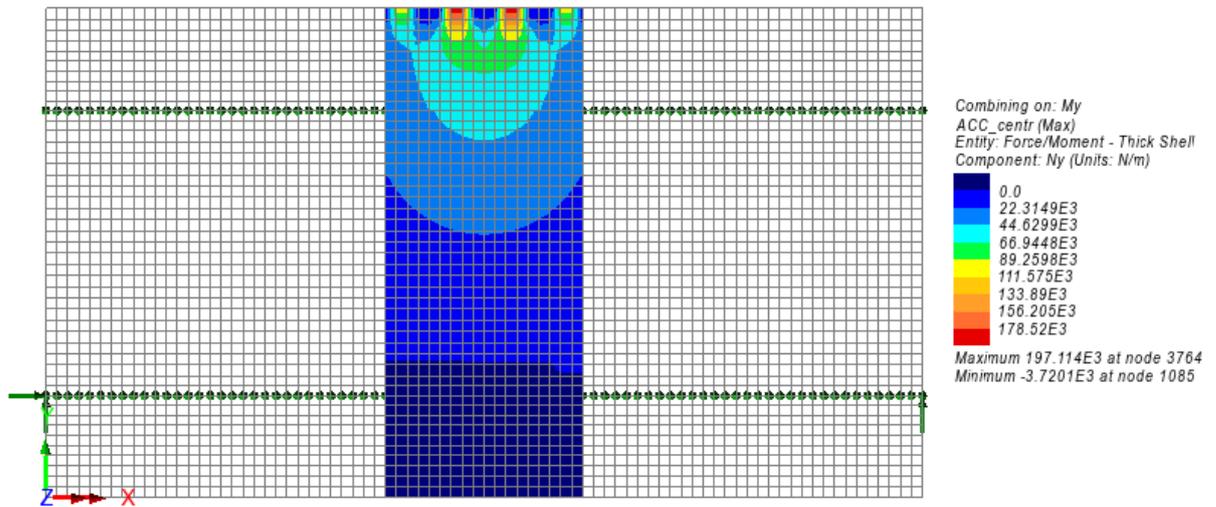


Figura 10.16: SLU eccezionale – Sforzo assiale Ny (max)

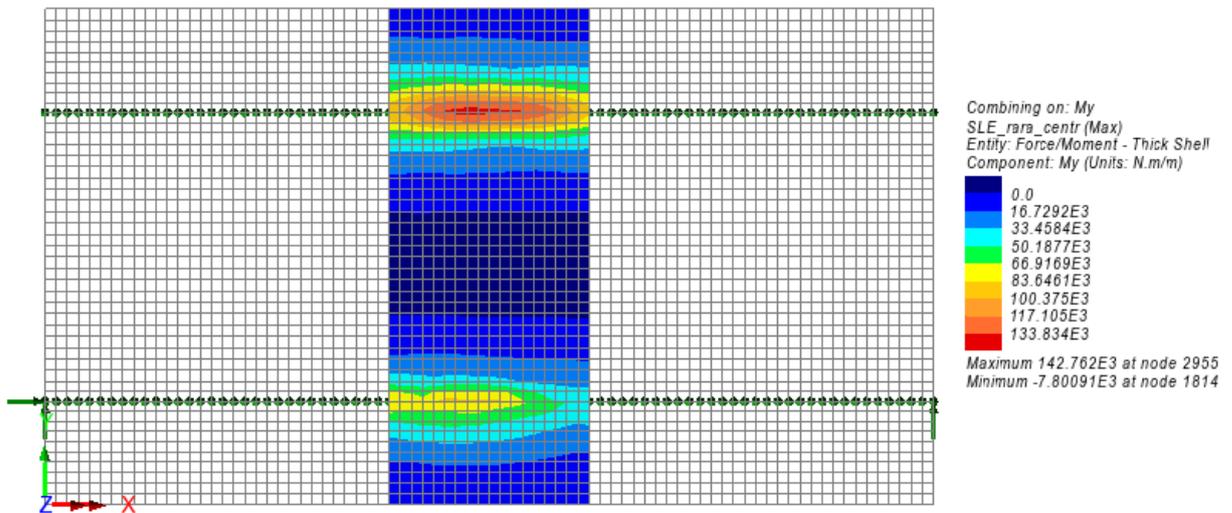


Figura 10.17: SLE rara – Momento My (max)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

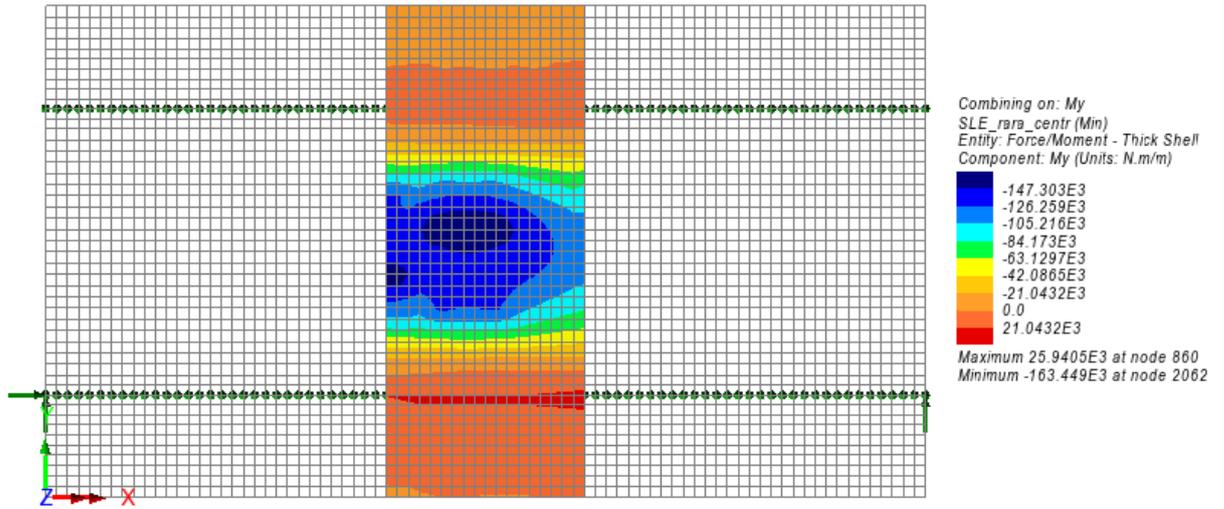


Figura 10.18: SLE rara – Momento My (min)

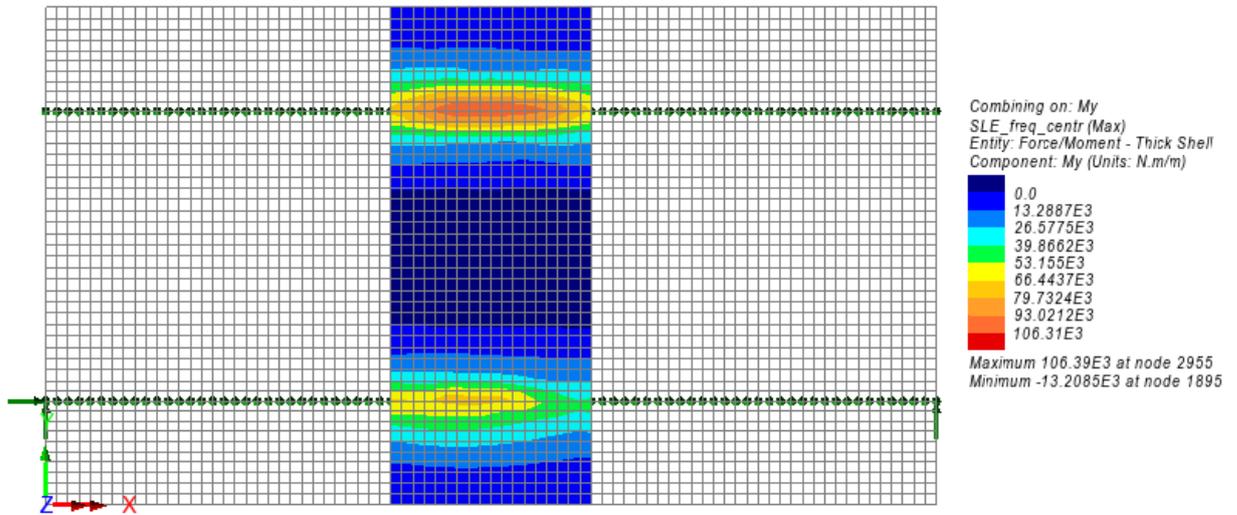


Figura 10.19: SLE frequente – Momento My (max)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

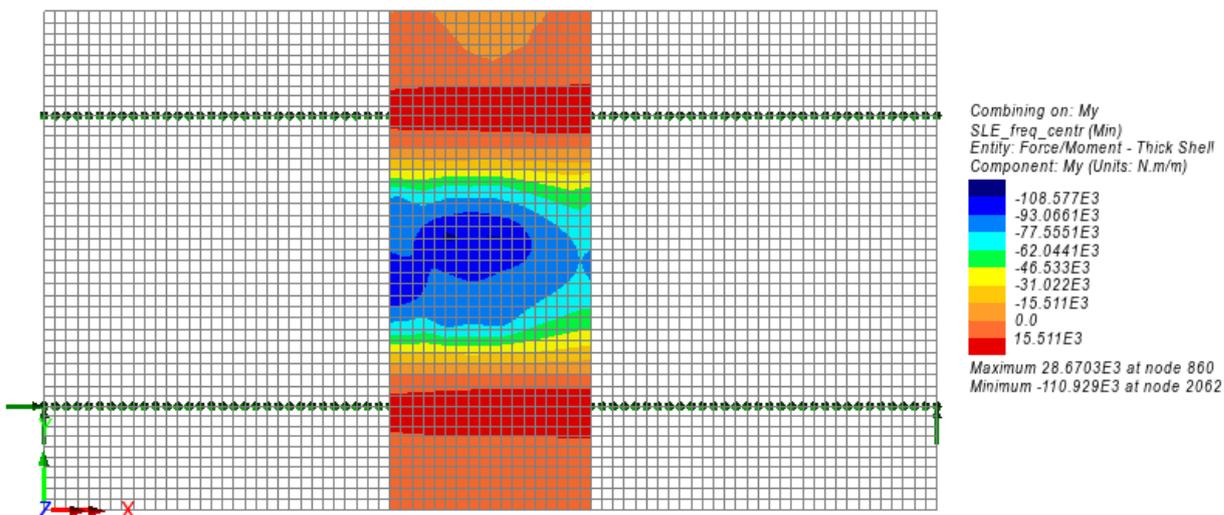


Figura 10.20: SLE frequente – Momento My (min)

Nelle immagini di seguito, si riportano i momenti My massimi e minimi in N*m allo SLU fondamentale, integrati su 1.25 m nella fascia "corrente" di soletta.



Figura 10.21: SLU fondamentale – Momento My integrato su 1.25 m (max)



Figura 10.22: SLU fondamentale – Momento My integrato su 1.25 m (min)

Nelle immagini di seguito, si riportano le mappature delle sollecitazioni per unità di lunghezza (momenti in N*m/m, sforzi assiali in N/m) per una fascia di soletta in corrispondenza del bordo.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

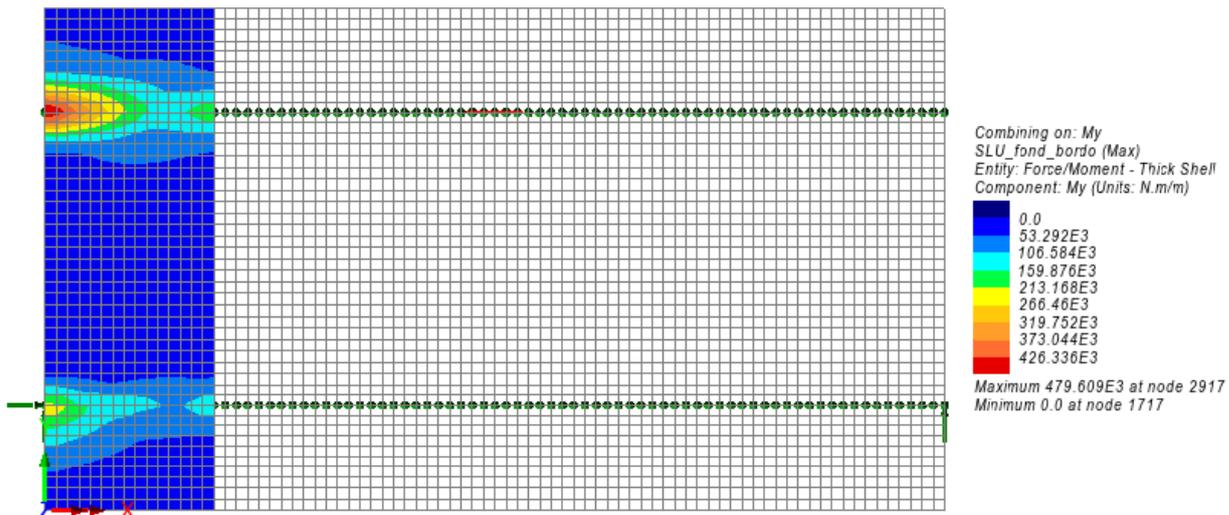


Figura 10.23: SLU fondamentale – Momento My (max)

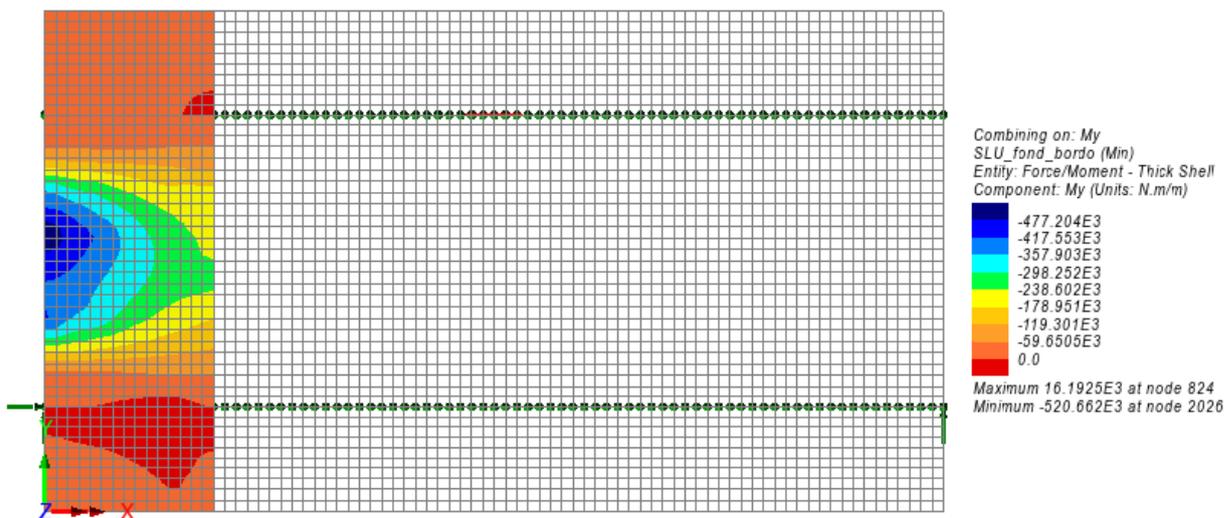


Figura 10.24: SLU fondamentale – Momento My (min)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

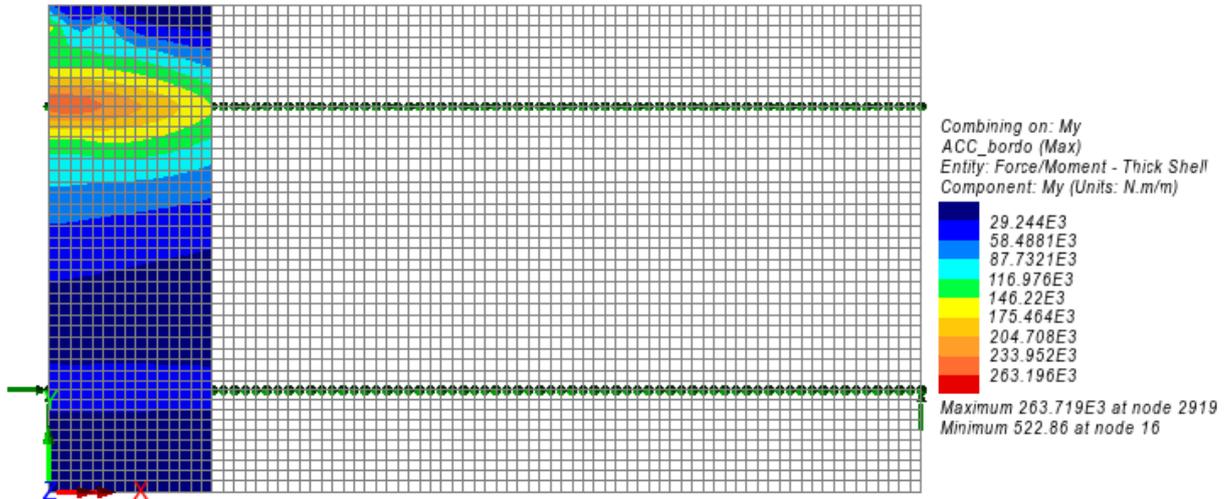


Figura 10.25: SLU eccezionale – Momento My (max)

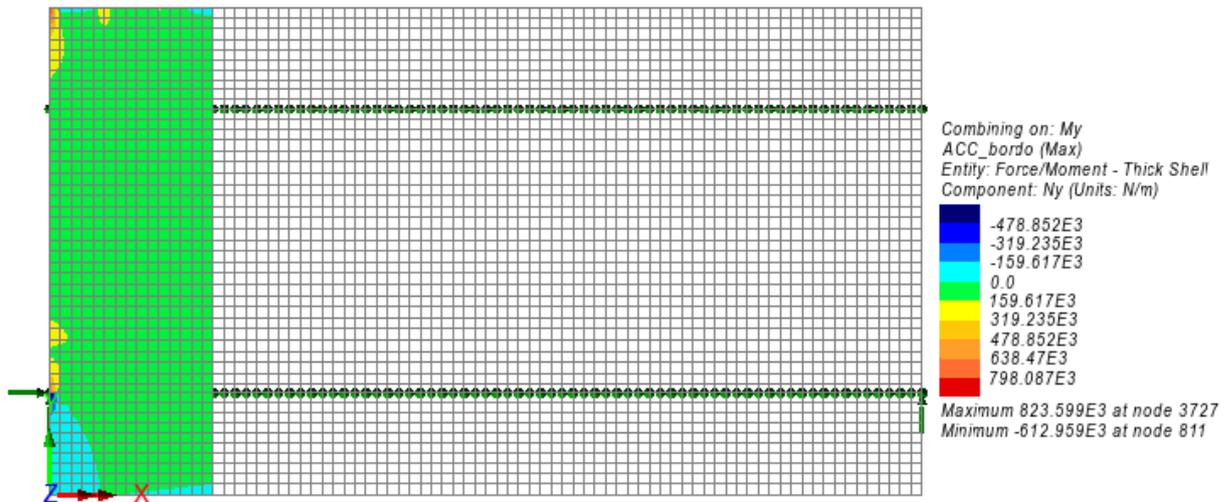


Figura 10.26: SLU eccezionale – Sforzo assiale Ny (max)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

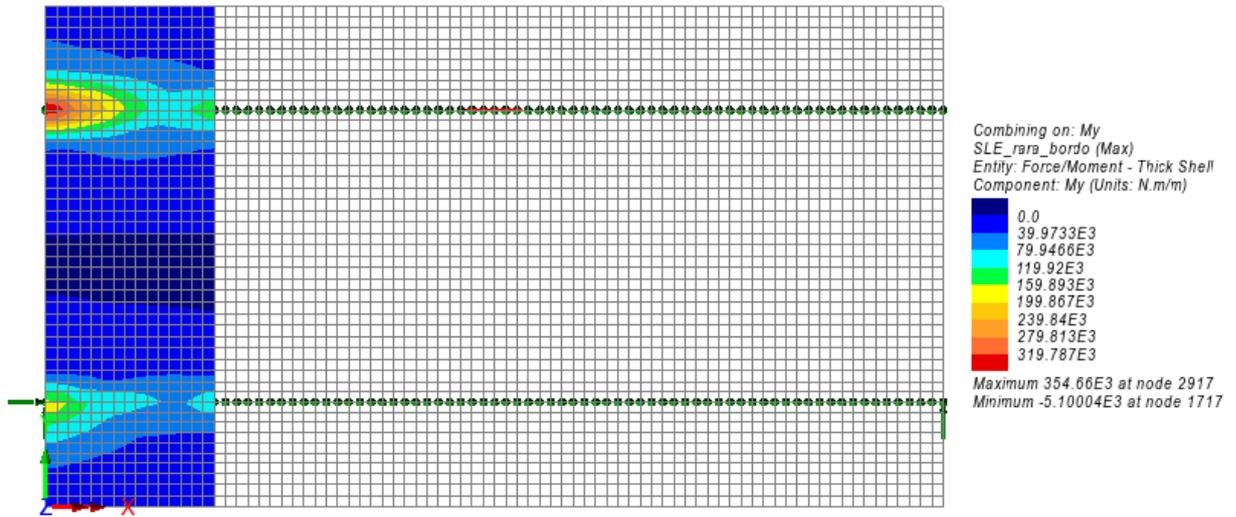


Figura 10.27: SLE rara – Momento My (max)

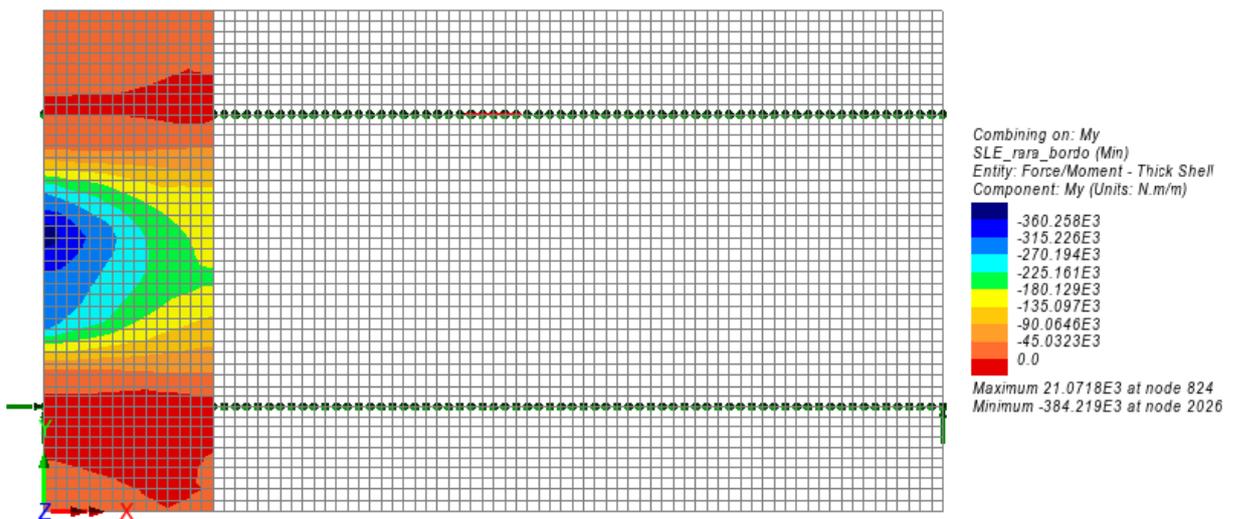


Figura 10.28: SLE rara – Momento My (min)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

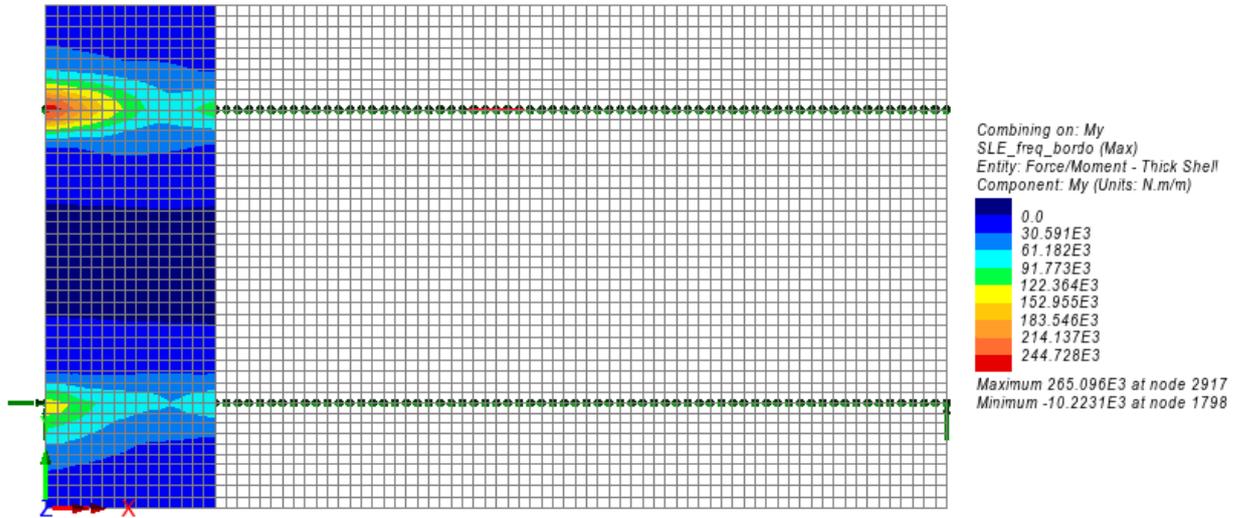


Figura 10.29: SLE frequente – Momento My (max)

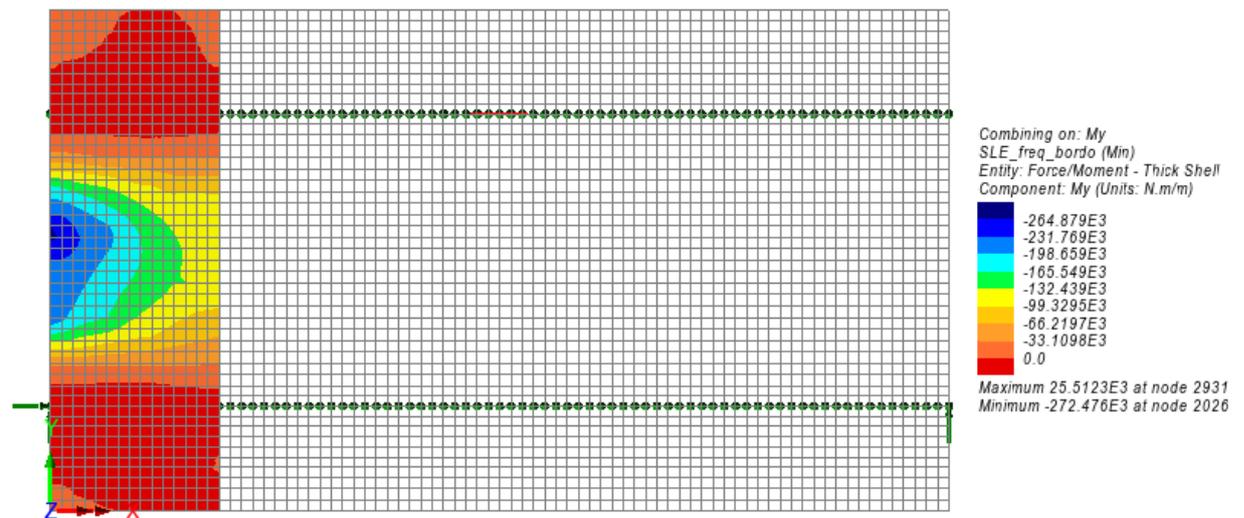


Figura 10.30: SLE frequente – Momento My (min)

Nelle immagini di seguito, si riportano i momenti My massimi e minimi in N*m allo SLU fondamentale, integrati su 3.5 m a "bordo" soletta.



Figura 10.31: SLU fondamentale – Momento My integrato su 3.5 m (max)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



Figura 10.32: SLU fondamentale – Momento My integrato su 3.5 m (min)

10.2.3 Verifica fascia "corrente" di soletta

10.2.3.1 Verifica a flessione della sezione in campata fra le travi

La sezione considerata ha dimensioni 100x30 cm ed è armata superiormente con $\phi 20/20$ cm ed inferiormente con $\phi 20/10$; si trascura in favore di sicurezza l'armatura della predalle. Vengono effettuate le verifiche allo SLU fondamentale, allo SLE in combinazione rara ed allo SLE in combinazione frequente.

DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

NOME FILE SEZIONE: Sezione_corrente_campata

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.13 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33345.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.020 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.200 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.200 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. a snervamento fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istant. $\beta 1 * \beta 2$:	1.00	

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
Comb.Rare - Sf Limite: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Barre superiori:	5Ø20	(15.7 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	202.42	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	148.67

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	100.14 (57.47)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.9 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	0.00	202.42	0.20	243.12	1.201	23.4	0.29	0.80	31.4 (4.0)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	0.00084	25.0	-0.00874	7.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min
1	S	12.47	30.0	0.00	20.0

Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
-244.5	25.0	6.7	668	31.4	9.6

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min
1	S	8.41	30.0	0.00	20.0

Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
-164.7	25.0	6.7	668	31.4	9.6

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; = $(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = $0.6 Ss/Es$
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
--------	-----	----	----	----	----	------	-----	----	---------

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

1 S -0.00127 0.00063 0.50 0.60 0.000576 (0.000494) 276 0.159 (0.20) 57.47

10.2.3.2 Verifica a presso\tenso flessione della sezione in appoggio sulla trave

Si considera la sezione in appoggio in asse trave in acciaio, di dimensioni 100x30 cm, armata superiormente con $\phi 20/10$ cm ed inferiormente con $\phi 20/20$; si trascura in favore di sicurezza l'armatura della predalle. Vengono effettuate le verifiche allo SLU in combinazione fondamentale, allo SLU in combinazione eccezionale, allo SLE in combinazione rara ed allo SLE in combinazione frequente. Per la verifica allo SLU in combinazione eccezionale vengono utilizzati in via cautelativa gli stessi coefficienti γ dei materiali utilizzati per la verifica allo SLU fondamentale.

Di seguito si indica con:

Comb. 1: SLU fondamentale\SLE rara\SLE freq.

Comb. 2: SLU eccezionale

DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

NOME FILE SEZIONE: Sezione_corrente_appoggio

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai)senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.13 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33345.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.020 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.200 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.200 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta 1 * \beta 2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$:	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.00 MPa	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø20	(15.7 cm ²)
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-186.79	0.00	0.00
2	-54.62	-213.17	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-137.54

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-102.47 (-60.46)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.9	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.									
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.2.1.2.1 NTC: deve essere < 0.45									
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]									
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	0.00	-186.79	-0.26	-264.15	1.414	7.7	0.31	0.82	31.4 (4.4)
2	S	-54.62	-213.17	-54.62	-259.59	1.220	7.5	0.30	0.81	31.4 (4.4)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00032	7.0	-0.00786	25.0
2	0.00350	0.0	0.00023	7.0	-0.00817	25.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min
1	S	10.57	0.0	0.00	10.8

Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
-208.9	7.0	6.4	641	31.4	9.6

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min
1	S	7.87	0.0	0.00	10.8

Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
-155.7	7.0	6.4	641	31.4	9.6

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00105	0.00059	0.50	0.60	0.000539 (0.000467)	205	0.111 (0.20)	-60.46

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

10.2.3.3 Verifica a taglio

La verifica a taglio viene effettuata sulla sezione di dimensioni 100x30 cm a filo ala superiore della trave in acciaio, a distanza 45 cm dall'asse, lato interno campata, considerando come armatura a taglio le armature dei trallicci delle predalles, costituiti da ferri $\phi 10$ a 5 braccia / 20 cm sulla larghezza considerata di 100 cm, per la zona corrente (1 traliccio ogni 40 cm).

Come altezza utile in via cautelativa, si considera l'altezza del traliccio stesso pari a 175 mm. La verifica è di seguito riportata.

VERIFICA A TAGLIO DELLA SOLETTA CONSIDERANDO LE ARMATURE SPECIFICHE A TAGLIO					
d	175 mm				
b _w	1000 mm				
f _{y,d}	391.3 N/mm ²				
f _{cd}	18.81 N/mm ²				
f' _{cd}	9.41 N/mm ²				
cot θ	2.50				
φ _w	10 mm			1 ≤ ctg θ ≤ 2,5	
α	60 °				
n bracci	5				
s	200 mm				
A _{sw}	393 mm ²				
α _c	1	membrature non compresse			
V _{Rcd} = 0.9 d b _w α _c f _{cd} (cot α + cot θ) / (1+cot ² θ) =	627.65 kN				
V _{Rsd} = 0.9 d A _{sw} / s f _{y,d} (cot α + cot θ) sin α =	322.70 kN				
V _{Rd} = min(V _{Rcd} , V _{Rsd}) =	322.70 kN				
V _{Ed} =	233.81 kN				
c. sic. = V_{Rd}/V_{Ed} =	1.38 > 1			Verifica soddisfatta	

10.2.4 Verifica fascia "di bordo" della soletta

10.2.4.1 Verifica a presso\tenso flessione delle sezioni in appoggio ed in campata fra le travi

Vengono verificate di seguito le sezioni in appoggio in asse trave, ed in campata; la sezione ha dimensioni 100x30 cm ed è armata sia superiormente che inferiormente con $\phi 26/10$ cm; si trascura in favore di sicurezza l'armatura della predalle. Vengono effettuate le verifiche allo SLU in combinazione fondamentale, allo SLU in combinazione eccezionale, allo SLE in combinazione rara ed allo SLE in combinazione frequente. Per la verifica allo SLU in combinazione eccezionale vengono utilizzati in via cautelativa gli stessi coefficienti γ dei materiali utilizzati per la verifica allo SLU fondamentale.

Di seguito si indica con:

- Comb. 1: SLU fondamentale\SLE rara\SLE freq., verifica in campata
- Comb. 2: SLU fondamentale\SLE rara\SLE freq., verifica all'appoggio
- Comb. 3: SLU eccezionale, verifica all'appoggio

DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

NOME FILE SEZIONE: Sezione_bordo

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.13	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33345.8	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.020	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.200	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.200	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	10Ø26	(53.1 cm ²)
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	358.00	0.00	0.00
2	0.00	-248.20	0.00	0.00
3	-71.34	-217.98	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	263.77
2	0.00	-183.03

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	182.54 (68.20)
2	0.00	-135.60 (-71.43)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.3	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	0.00	358.00	0.07	385.77	1.078	22.7	0.32	0.84	53.1 (4.0)
2	S	0.00	-248.20	-0.21	-408.39	1.645	9.1	0.37	0.90	53.1 (4.3)
3	S	-71.34	-217.98	-71.28	-402.95	1.851	9.0	0.36	0.89	53.1 (4.3)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	0.00095	24.7	-0.00741	7.3
2	0.00350	0.0	0.00070	7.3	-0.00599	24.7
3	0.00350	0.0	0.00065	7.3	-0.00614	24.7

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata (Mpa)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata (Mpa)
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio (Mpa)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	15.54	30.0	0.00	19.5	-269.7	24.7	6.5	649	53.1	9.5
2	S	10.53	0.0	0.00	11.7	-175.5	7.3	6.1	610	53.1	9.5

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00216	0.00117	0.50	0.60	0.001183 (0.000809)	258	0.305 (990.00)	68.20
2	S	-0.00123	0.00079	0.50	0.60	0.000719 (0.000526)	187	0.134 (990.00)	-71.43

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	10.75	30.0	0.00	19.5	-186.6	24.7	6.5	649	53.1	9.5
2	S	7.80	0.0	0.00	11.7	-130.0	7.3	6.1	610	53.1	9.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00149	0.00081	0.50	0.60	0.000768 (0.000560)	258	0.198 (0.20)	68.20
2	S	-0.00091	0.00059	0.50	0.60	0.000492 (0.000390)	187	0.092 (0.20)	-71.43

10.2.4.2 Verifica a taglio

La verifica a taglio viene effettuata sulla sezione di dimensioni 100x30 cm a filo ala superiore della trave in acciaio, a distanza 45 cm dall'asse, lato interno campata, considerando come armatura a taglio le armature dei tralicci delle predalles, costituiti da ferri Ø10 a 10 braccia / 20 cm sulla larghezza considerata di 100 cm, per la zona di bordo (1 traliccio ogni 20 cm);

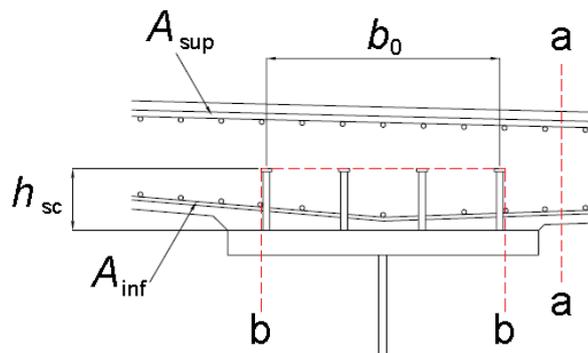
RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Come altezza utile in via cautelativa, si considera l'altezza del traliccio stesso pari a 175 mm.
La verifica è di seguito riportata.

VERIFICA A TAGLIO DELLA SOLETTA CONSIDERANDO LE ARMATURE SPECIFICHE A TAGLIO					
d	175	mm			
b _w	1000	mm			
f _{yd}	391.3	N/mm ²			
f _{cd}	18.81	N/mm ²			
f' _{cd}	9.41	N/mm ²			
cot θ	2.50				
φ _w	10	mm			1 ≤ ctg θ ≤ 2,5
α	60	°			
n bracci	10				
s	200	mm			
A _{sw}	785	mm ²			
α _c	1	membrature non compresse			
V _{Rcd} = 0.9 d b _w α _c f _{cd} (cot α + cot θ) / (1+cot ² θ) =	627.65	kN			
V _{Rsd} = 0.9 d A _{sw} / s f _{yd} (cot α + cot θ) sin α =	645.40	kN			
V _{Rd} = min(V _{Rcd} , V _{Rsd}) =	627.65	kN			
V _{Ed} =	378.83	kN			
c. sic. = V_{Rd}/V_{Ed} =	1.66	> 1			Verifica soddisfatta

10.3 RESISTENZA AL TAGLIO LONGITUDINALE

Il massimo sforzo di scorrimento all'interfaccia trave-soletta è determinato sulla base delle sollecitazioni riscontrate nel modello globale della struttura ed è utilizzato nel progetto della piolatura. Bisogna assicurarsi, in accordo al 6.6.6 dell' Eurocodice 4, che il massimo sforzo di taglio longitudinale sia sopportato anche da una qualunque sezione della soletta a filo della trave, come meglio esplicitato in figura.



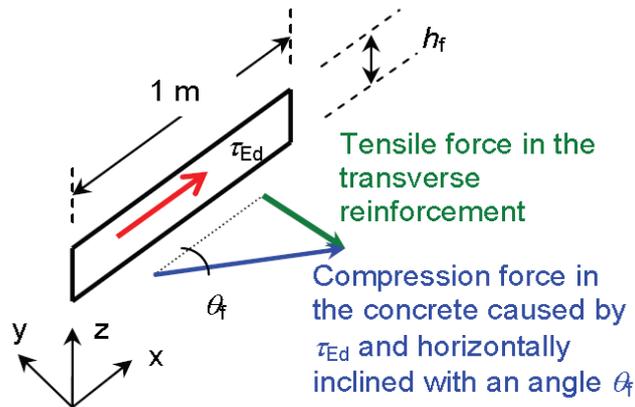
Nella tabella seguente si riportano i dati necessari alla verifica:

A_{f^{sup}}	1571.0	mmq	armatura superiore trasversale per unità di lunghezza di soletta
A_{f^{inf}}	1571.0	mmq	armatura inferiore trasversale per unità di lunghezza di soletta
V_{Ed}	1067	KN/m	azione di taglio longitudinale sui connettori per unità di lunghezza

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Di seguito si riportano nel dettaglio le verifiche nelle due sezioni d'interesse a-a e b-b.

10.3.1 Verifica della sezione a-a



$V_{Ed,a}$	533.5	N/mm	azione di taglio longitudinale agente sulla sezione di verifica a-a
h_f	300	mm	altezza sezione di soletta reagente
τ_{Ed}	1.778	N/mm ²	tensione media di taglio longitudinale sulla soletta
A_s	3142.0	mm ² /m	area resistente delle armature

Verifica dell'armatura trasversale

$\cotan(\theta_f)$	1.25		
θ_f	0.67	rad	
f_{sd}	391.3	N/mm ²	resistenza delle barre
f_{Ed}	135.84	N/mm ²	tensione di sollecitazione sulle barre per taglio longitudinale
f_{sd}	>	f_{Ed}	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica della biella compressa del calcestruzzo

f_{ck}	33.2	N/mm ²	resistenza caratteristica a compressione
γ_c	1.5		coefficiente parziale calcestruzzo
v	0.52032		fattore di riduzione della resistenza a taglio
f_{cd}	18.37	N/mm ²	resistenza di calcolo del calcestruzzo
f_{Ed}	7.01	N/mm ²	tensione di sollecitazione delle barre per taglio longitudinale

f_{cd}	>	f_{Ed}	VERIFICA SODDISFATTA
----------	---	----------	-----------------------------

10.3.2 Verifica della sezione b-b

Nella tabella di seguito si riportano i dati geometrici d'interesse utilizzati nella verifica della sezione b-b.

$V_{Ed,b}$	1067	N/mm	azione di taglio longitudinale agente sulla sezione di verifica b-b
b_o	600	mm	distanza massima trasversale tra i connettori
ϕ_{conn}	19	mm	diametro connettori
h_{conn}	220	mm	altezza connettori
hf	1059	mm	lunghezza della superficie di taglio
τ_{Ed}	1.008	Mpa	tensione media di taglio longitudinale sulla soletta
A_s	3142	mmq/m	area resistente delle armature

Verifica dell'armatura trasversale

$\cotan(\theta_f)$	1.25		
θ_f	0.67	rad	
f_{sd}	391.3	Mpa	resistenza delle barre
f_{Ed}	271.67	Mpa	tensione di sollecitazione delle barre per taglio longitudinale

f_{sd}	>	f_{Ed}	VERIFICA SODDISFATTA
----------	---	----------	-----------------------------

10.4 VERIFICA CORDOLO NEI CONFRONTI DELL'AZIONE D'URTO

Le caratteristiche dimensionali e di resistenza dell'ancoraggio della barriera dipendono dal modello prescelto per l'installazione, la cui scelta dovrà ovviamente essere effettuata rispettando i requisiti richiesti dal dispositivo in termini di larghezza minima del cordolo di installazione e resistenza minima del calcestruzzo di base.

Si rimanda pertanto alla documentazione d'omologazione del dispositivo, che dovrà essere prodotta in fase di installazione, per tutti gli approfondimenti inerenti caratteristiche e resistenza dei tirafondo, oltre che per la valutazione di sicurezza dell'ancoraggio della piastra di base.

Si effettua in questa fase una verifica locale dell'oggetto del cordolo, di altezza pari a 150 mm, nei confronti dell'azione orizzontale nominale indotta dall'urto.

Data l'altezza limitata dell'oggetto, il meccansimo resistente è del tipo "shear friction", caratteristico delle mensole "molto tozze", ed impegna la sezione A-A indicata in figura.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

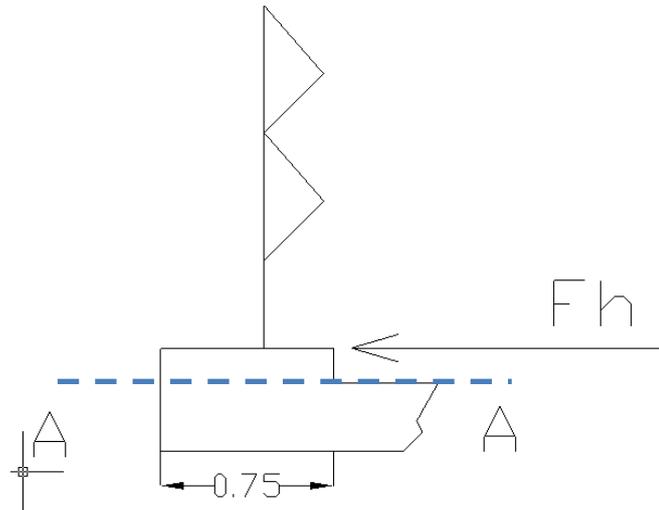


Figura 10.33 Sezione di verifica shear friction

Per l'individuazione e la valutazione dei meccanismi resistenti tipo "shear friction" si rimanda a EN 1992-1-1, cap. 6.2.5.

Con riferimento alla formula 6.25 del par. 6.2.5.(1), la resistenza unitaria di progetto è data in generale dalla somma dei tre contributi indotti da:

- Coesione
- Attrito indotto dalle azioni verticali
- Armature passanti

Risultando:

$$v_{Rd} = c f_{ctd} + \mu \sigma_N + \rho f_{yd} \mu < 0.5 v f_{cd}$$

Per il caso in esame, a favore di sicurezza, si considera esclusivamente il contributo della staffatura passante attraverso la sezione di interfaccia. Infatti risultano teoricamente pressochè nulle le azioni esterna normali alla superficie, mentre si ritiene cautelativo strascurare il contributo della "coesione", dato che la sezione risulta teoricamente impegnata anche da azioni normali di trazione.

Si assume pertanto:

$$\mu = 0.6$$

$$\rho = 2 \times 154 / (200 \times 750) = 2.05 \text{ e-}3 \quad \text{staffe a due braccia } \varnothing 14/20$$

$$v_{Rd,max} = 0.5 \times 0.5 \times 32 / 1.5 = 5.33 \text{ MPa} \quad (v = 0.5 \text{ e } f_{ck} = 32 \text{ MPa})$$

$$f_{ctd} = 2.12 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd} = 0.6 \times 2.05 \text{ e-}3 \times 450 / 1 = 0.55 \text{ MPa} \quad (*)$$

(*) Trattandosi di una verifica in condizione eccezionale, si considera $gM = 1$ per il calcolo del contributo dell'acciaio.

L'azione orizzontale di progetto, coincide con l'azione nominale massima trasmessa dal singolo paletto più caricato, in fase di urto.

Ipotizzando cautelativamente una diffusione a 45° a partire dall'asse paletto, si considera un'mpiezza di diffusione media pari a $b_{max} = 0.75 \text{ m}$.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

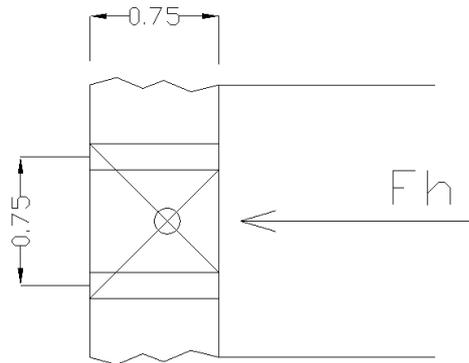


Figura 10.34 Diffusione orizzontale azione trasmessa dal paletto

Si ottiene:

$$v_{Ed} = 100000 / (750 \times 750) = 0.18 \text{ MPa}$$

$$\eta = v_{Ed} / v_{Rd} = 0.18 / 0.55 = 0.33$$

La verifica risulta soddisfatta

11. VERIFICA FASE DI SOLLEVAMENTO

11.1 DIMENSIONAMENTO MARTINETTI DI SOLLEVAMENTO

Per consentire le operazioni di sollevamento impalcato necessarie alla manutenzione dei dispositivi di vincolo, l'impalcato verrà sollevato predisponendo una batteria di martinetti idraulici in corrispondenza delle apposite riservezioni predisposte a fianco delle travi principali.

Tali riservezioni sono state specificatamente progettate, predisponendo gli opportuni piatti di irrigidimento necessari per convogliare l'azione dei martinetti lungo gli elementi principali.

In condizione di sollevamento, la batteria di martinetti dovrà garantire una portata atta a vincere la reazione verticale complessiva indotta dai pesi propri e sovraccarichi permanenti, oltre alla coazione indotta dall'iperstaticità della struttura per effetto dello spostamento imposto in corrispondenza dei vincoli.

Il dimensionamento terrà inoltre conto dell'eventuale possibilità di mantenere il flusso veicolare, considerando la reazione dei carichi da traffico in condizione frequente.

A favore di sicurezza, la portata del martinetto verrà dimensionata sulla base del complesso di questi carichi (ipotizzando quindi di operare il sollevamento in contemporanea alla presenza del traffico).

Il sollevamento del manufatto verrà effettuato posizionando i martinetti in corrispondenza di opportuni irrigidimenti previsti lateralmente rispetto agli appoggi.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

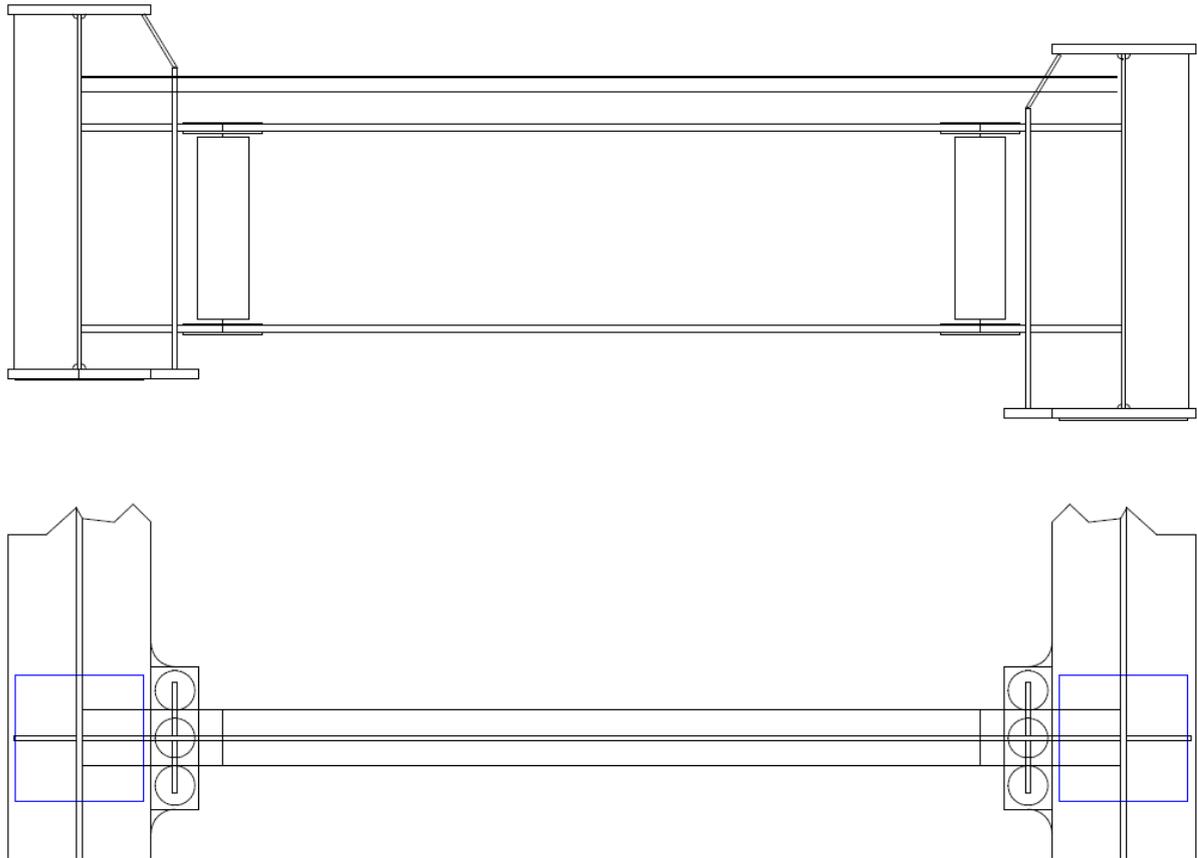


Figura 11.1 Irrigidenti per sollevamento impalcato

La massima deformazione impressa dai martinetti sarà limitata al valore massimo di 30 mm.

Si considera concomitante all'operazione di sollevamento, la presenza dei carichi da traffico frequenti.

Le massime reazioni al martinetto saranno pertanto fornite, per il sostegno di pila, dalla somma dei seguenti contributi:

$N_{ED,QP} = -3466 \text{ kN}$	azione di progetto afferente alla comb. S.L.E. quasi permanente
$N_{ED,Qkfr} = -1246 \text{ kN}$	azione di progetto afferente i carichi mobili frequenti
$N_{ED,Soll} = -202 \text{ kN}$	azione di progetto per effetto di $\Delta z = 30 \text{ mm}$ su entrambi gli appoggi

Per il sollevamento alla spalla, similmente:

$N_{ED,QP} = -1653 \text{ kN}$	azione di progetto afferente alla comb. S.L.E. quasi permanente
$N_{ED,Qkfr} = -803 \text{ kN}$	azione di progetto afferente i carichi mobili frequenti
$N_{ED,Soll} = -65.4 \text{ kN}$	azione di progetto per effetto di $\Delta z = 30 \text{ mm}$ su entrambi gli appoggi

L'azione di progetto con cui dimensionare la batteria di martinetti risulta pertanto:

$F_{z,Soll} = 5000 \text{ kN}$	per i martinetti da predisporre in pila
$F_{z,Soll} = 2200 \text{ kN}$	per i martinetti da predisporre in spalla

11.2 VERIFICA SEMPLIFICATA DI STABILITÀ

In prima battuta si studia la stabilità globale dell'asta del montante. Lo studio viene effettuato in maniera semplificata, studiando l'asta, modellata come un elemento compatto, vincolata ad incastro all'estremità superiore e caricata dall'azione eccentrica dei martinetti.

L'asta viene modellata come una "beam", assumendo le proprietà geometriche del profilo composto dai piatti principali dell'irrigidente. Viene assunta collaborante una porzione di anima pari a $15 \varepsilon t_w$ da ciascun lato degli irrigidenti trasversali principali.

In figura si riporta lo schema del modello, il rendering e la prima deformata critica.



Figura 11.2 Rendering del modello

Scale: 1: 15.7623
Zoom: 71.178
Eye: (-0.447971, 0.85114, 0.273646)
Eigenvalue analysis
Analysis: 01 analisi buckling
Loadcase: 1: Loadcase 1, 1: Mode 1 Load Factor = 96.6260
Results file: colonna_montante~01 analisi buckling.mys
Eigenvalue: 96.626
Load factor: 96.626
Amplification factor: 1.01046
Error norm: 70.5588E-9
Maximum displacement 1.0205 at node 2
Deformation exaggeration: 0.697483

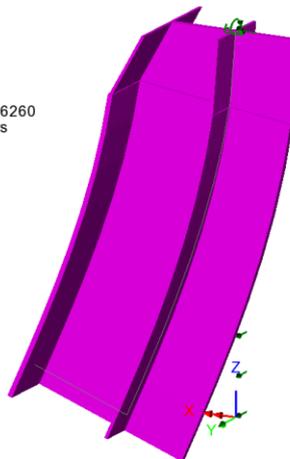


Figura 11.3 mesh E.F. Prima defoemata critica

Risultando un moltiplicatore euleriano pari a 97, vengono esclusi fenomeni connessi all'instabilità "di colonna".

11.3 STRESS ANALYSIS

La stress analysis è basata su di un modello tridimensionale, implementato tramite il sistema Lusas, attraverso il quale si intende valutare la corretta distribuzione delle azioni nei piatti di irrigidimento predisposti.

Il modello è basato sull'utilizzo di elementi tipo "thick shell" a 8 nodi, dotati di funzioni di forma quadratiche.

La mesh, opportunamente infittita in prossimità delle zone a più elevato gradiente, presenta dimensione caratteristica compresa tra 125 e 250 mm.

Il modello comprende un tratto di trave metallica, di lunghezza complessiva pari a 8 m, modellata simmetricamente rispetto all'asse appoggi di pila, che viene caricato dal basso verso l'alto dalla pressione equivalente alla batteria di martinetti.

La struttura è fittiziamente vincolata alle sezioni di estremità mediante vincoli elasto-rigidi, atti a garantire l'equilibrio del tronco di trave senza introdurre particolari gradienti di tensione.

Dato che lo scopo principale del modello è una valutazione numerico-qualitativa della diffusione delle tensioni localizzate e della presenza di eventuali fenomeni distorsivi, NON si procede alla modellazione dell'elemento di traverso né della soletta.

Le figure seguenti riportano la mesh ed il rendering del modello, con riepilogo degli spessori di shell impiegati.

L'area di impronta dei martinetti è stata assunta di dimensioni pari a 700 x 100 mm.

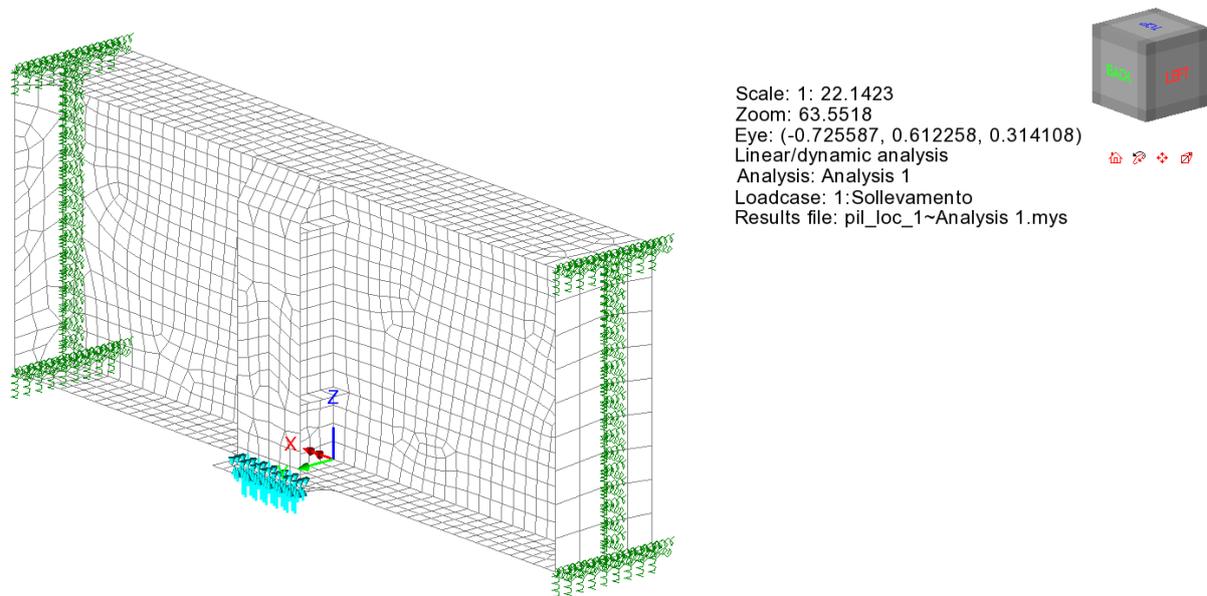
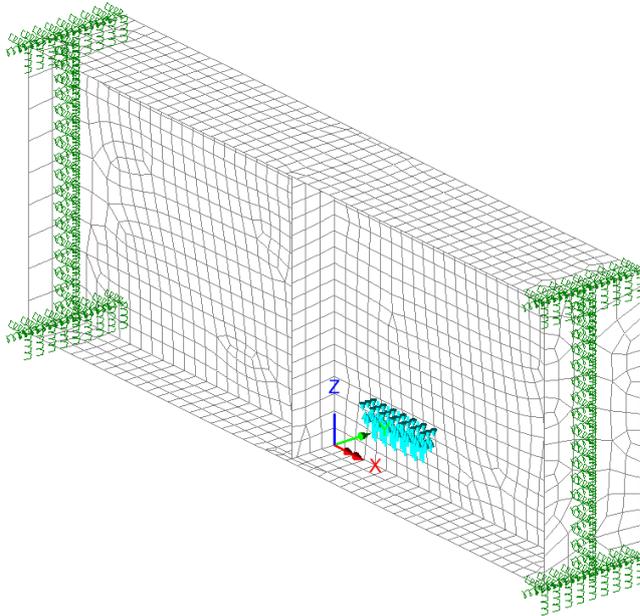


Figura 11.4 mesh E.F. , carichi e vincoli - lato interno

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi



Scale: 1: 22.1423
Zoom: 63.5518
Eye: (0.712005, -0.575492, 0.402315)
Linear/dynamic analysis
Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Sollevamento
Results file: pil_loc_1~Analysis 1.mys

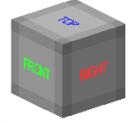
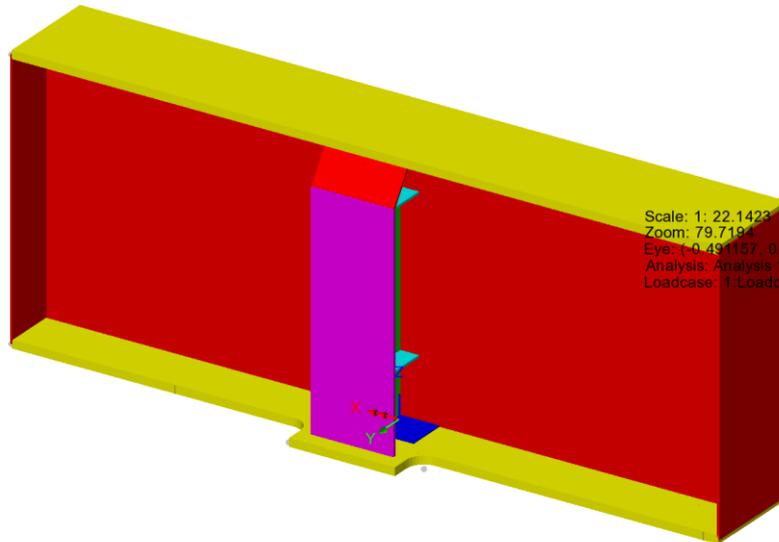


Figura 11.5 mesh E.F. , carichi e vincoli - lato esterno



Geometric Key
Analysis: Analysis 1
■ thick20mm
■ thick35mm
■ thick70+20mm
■ thick70mm
■ thick30mm
■ thick40mm

Scale: 1: 22.1423
Zoom: 79.7194
Eye: (-0.491157, 0.757181, 0.430629)
Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Loadcase 1



Figura 11.6 Rendering + spessori di calcolo – lato interno

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

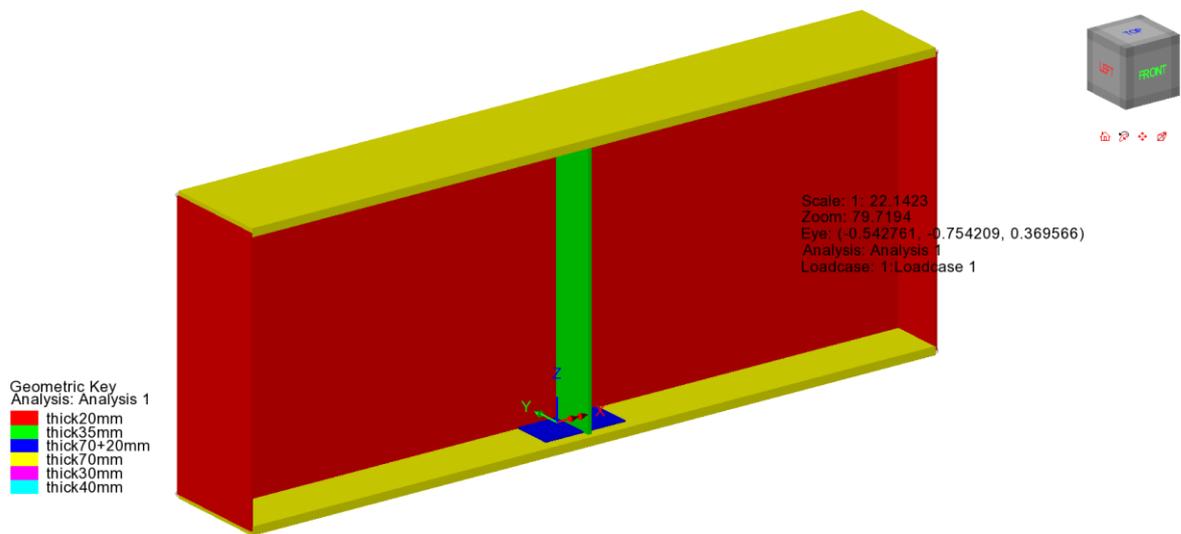


Figura 11.7 Rendering + spessori di calcolo – lato esterno

La forza introdotta dai martinetti viene implementata come carico "global distributed", di intensità specifica pari a:

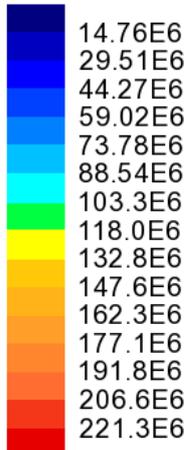
$$qz = 4914 / (0.7 \times 0.1) = 70200 \text{ kN/m}^2$$

La valutazione delle tensioni viene effettuata esaminando le tensioni di Von Mises in corrispondenza dei piatti principali.

Di seguito si riporta il diagramma delle tensioni di Von Mises in forma "unaveraged", allo scopo di non falsare i risultati attraverso l'interpolazione ai nodi di elementi afferenti a differenti spessori.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Sollevamento
Results file: pil_loc_1~Analysis 1.mys
Entity: Stress (middle) - Thick Shell
Component: SE (Units: N/m²)



Maximum 221.4E6 at node 1494 of element 526
Minimum 83.12E3 at node 3083 of element 1026

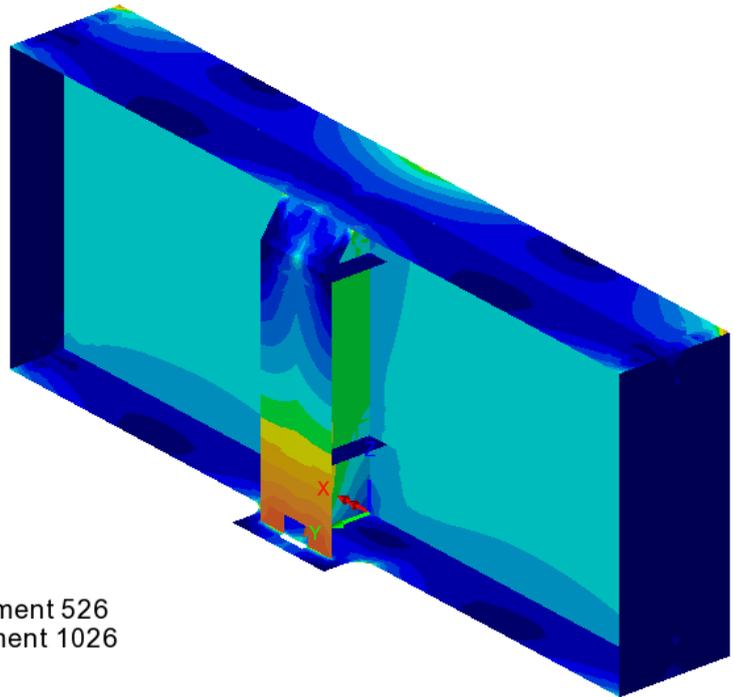
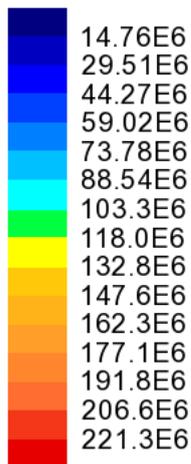


Figura 11.8 Tensioni Von Mises - p.m. lastre - lato interno

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Sollevamento
Results file: pil_loc_1~Analysis 1.mys
Entity: Stress (middle) - Thick Shell
Component: SE (Units: N/m²)



Maximum 221.4E6 at node 1494 of element 526
Minimum 83.12E3 at node 3083 of element 1026

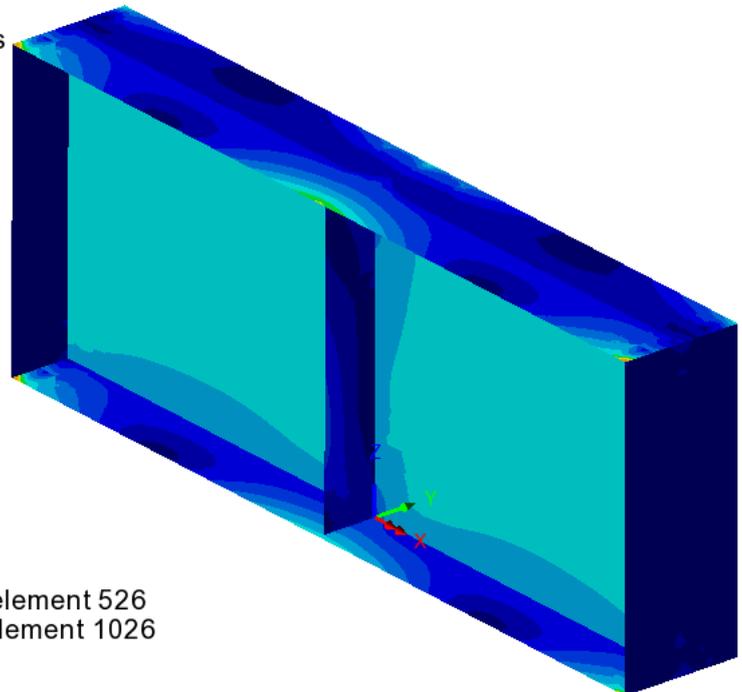
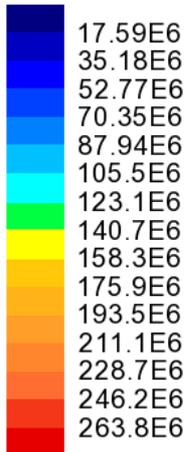


Figura 11.9 Tensioni Von Mises - p.m. lastre - lato esterno

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Il diagramma seguente riporta il dettaglio dell'andamento delle tensioni riferito ai piatti del sistema di irrigidimento

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Sollevamento
Results file: pil_loc_1~Analysis 1.mys
Entity: Stress (middle) - Thick Shell
Component: SE (Units: N/m²)



Maximum 268.0E6 at node 1294 of element 457
Minimum 4.204E6 at node 1370 of element 430

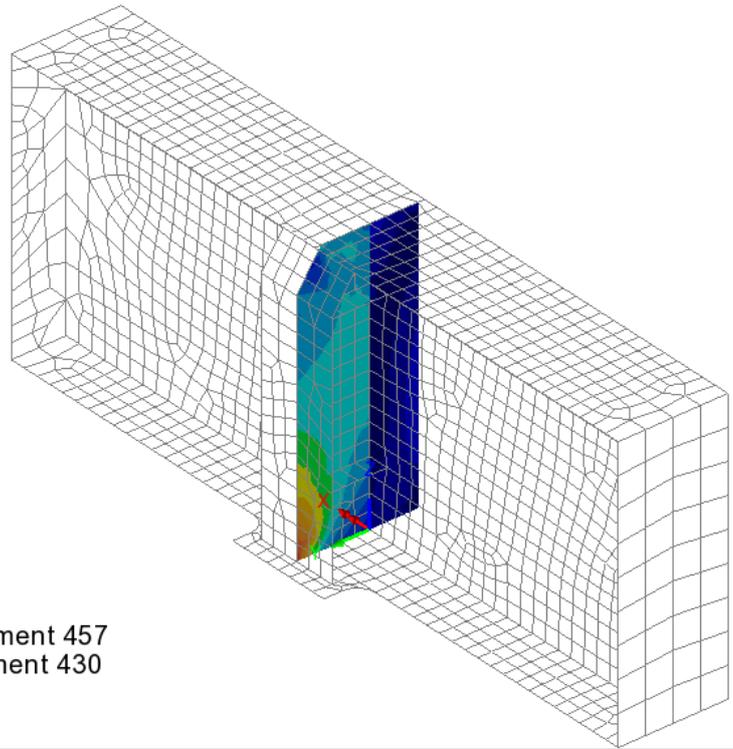
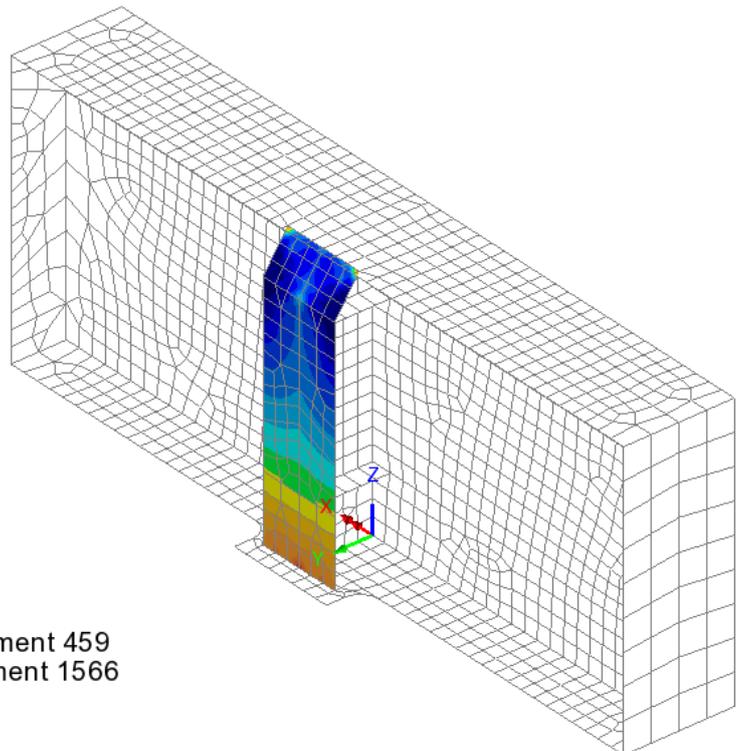


Figura 11.10 Tensioni Von Mises - p.m. lastre – 1

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Sollevamento
Results file: pil_loc_1~Analysis 1.mys
Entity: Stress (middle) - Thick Shell
Component: SE (Units: N/m²)



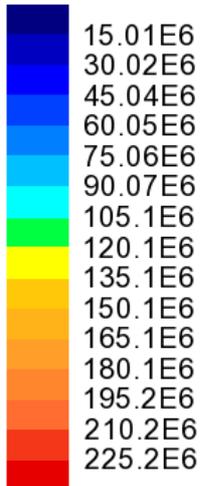
Maximum 253.6E6 at node 1294 of element 459
Minimum 1.717E6 at node 4635 of element 1566



RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Figura 11.11 Tensioni Von Mises - p.m. lastre – 2

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Sollevamento
Results file: pil_loc_1~Analysis 1.mys
Entity: Stress (middle) - Thick Shell
Component: SE (Units: N/m²)



Maximum 227.2E6 at node 1294 of element 403
Minimum 1.999E6 at node 1347 of element 408

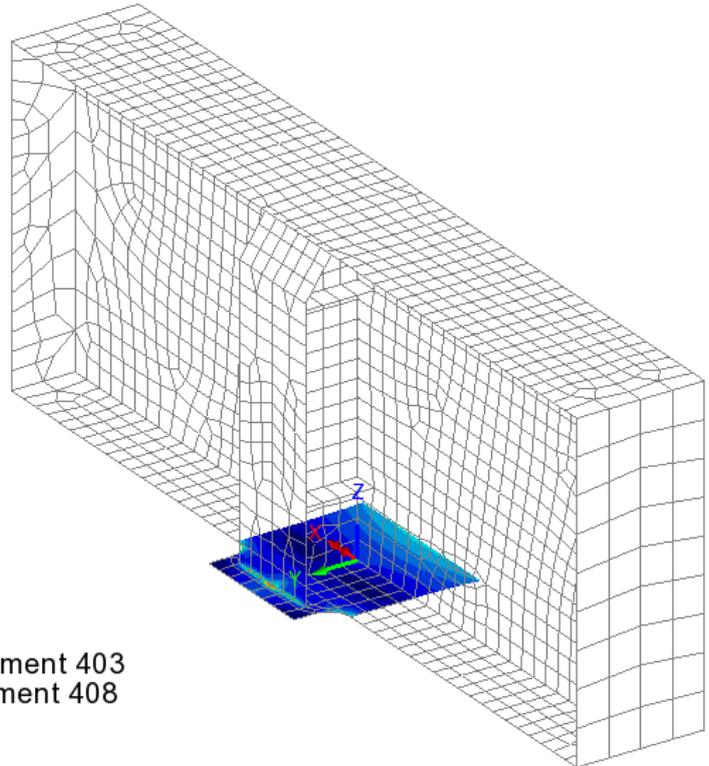


Figura 11.12 Tensioni Von Mises - p.m. lastre – 3

Come si può notare dall'esame dei diagrammi, le tensioni di Von Mises valutate in corrispondenza del piano medio delle lastre, raggiungono un valore di punta intorno ai 268 MPa, in una zona molto localizzata, posta praticamente a diretto contatto con l'azione localizzata dei martinetti.

La tensione media, al di fuori delle zone poste nell'immediata vicinanza delle azioni localizzate si attestano su valori di poco superiori a 210 Mpa.

La verifica durante l'operazione transitoria del sollevamento del manufatto può essere pertanto ritenuta soddisfatta con buon margine.

12.CONTROLLI TRAMITE VALUTAZIONI INDIPENDENTI

La modellazione F.E.M. dell'impalcato e della soletta è stata sottoposta ad un ciclo completo di controlli che ha compreso uno step preliminare consistente in:

- visualizzazione di ciascuna combinazione di carico, allo scopo di cogliere macroscopici errori di input
- esame di dettaglio dei valori numerici dei seguenti model attributes, oltre che delle corrette assegnazioni ai rispettivi elementi:

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- geometria sezioni
- caratteristiche materiali
- esame di dettaglio della completezza e correttezza di ogni singola combinazione di carico e/o involuppo, comprendente il controllo dei fattori moltiplicativi $\gamma_{fav} / \gamma_{unfav}$. Tale esame è stato effettuato sistematicamente per tutte le combinazioni, ed attraverso la stampa, a campione, degli effettivi coefficienti impiegati nell'ambito di predeterminate verifiche – obiettivo.

Sono stati effettuati dei controlli di tipo "diretto", ripercorrendo taluni aspetti del calcolo mediante metodologie completamente indipendenti da quelle impiegate nello sviluppo.

In particolare, si riporta di seguito il controllo indipendente delle sollecitazioni sulla trave di bordo del manufatto.

Il controllo è stato effettuato prendendo in esame i contributi di carico più "dimensionanti", costituiti dal complesso dei pesi propri e permanenti (G1, G2) e dei carichi mobili, ed effettuando una stima semplificata delle azioni interne di momento flettente e taglio lungo la trave più caricata.

Allo scopo, si è elaborato un modello semplificato di trave continua, monodimensionale, riprodotto la successione di campate, e dotato di caratteristiche omogenee per quanto riguarda geometrie e materiali.

Per i contributi di carico indotti dalle azioni permanenti si ipotizza una uniforme distribuzione sulle 2 travi principali relativamente a ciascun contributo.

Il calcolo indipendente del carico distribuito dovuto a G1 e G2 è riportato in tabella.

		Carichi di trave (G1, G2)													
				b_{rif} (m)	N/m	L	kN								
peso acciaio - G1'	219.00	x	-10.00	=	-2190.00	x	11.25	=	-24637.50	110.00	=	-2710.13			
soletta - G1''	0.30	x	2500.00	x	-10.00	=	-7500.00	x	11.25	=	-84375.00	x	110.00	=	-9281.25
manto - G2'	0.11	x	2400.00	x	-10.00	=	-2640.00	x	9.75	=	-25740.00	x	110.00	=	-2831.40
cordoli G2''	0.15	x	2500.00	x	-10.00	=	-3750.00	x	1.50	=	-5625.00	x	110.00	=	-618.75
barriere G2'''										=	-4000.00	x	110.00	=	-440.00
velette G2''''										=	-3500.00	x	110.00	=	-385.00
															-16266.53
G1, totale										-109012.50	N/m	=	-54506.25	N/m/trave	
G2, totale										-35365.00	N/m	=	-17682.5	N/m/trave	

Tabella 12.1 Valutazione indipendente G1, G2

Le risultanti complessive sono state confrontate con i valori riportati nei file ".out" di lusas per i rispettivi casi di carico, di cui si riportano gli screenshots.

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

T GROUP	RESULTANT APPLIED LOAD AT ORIGIN IN GLOBAL			
	Fx N	Fy N	Fz N	Mx M
CASE 2				
S FOR				
TURE	0.000000E+00	0.000000E+00	-0.292181E+07	-0.164352E+08
CASE 5				
S FOR				
TURE	0.000000E+00	0.000000E+00	-0.928125E+07	-0.522070E+08

Figura 12.1 File ".out" analisi di fase 1 - contributi G1

OUTPUT GROUP	RESULTANT APPLIED LOAD AT ORIGIN IN GLOBAL			
	Fx N	Fy N	Fz N	Mx M
LOAD CASE 3				
TOTALS FOR				
STRUCTURE	0.000000E+00	0.000000E+00	-0.431640E+07	-0.242797E

AVERAGE ASPECT RATIO OF STRUCTURAL ELEMENTS (EXCEPT JOINTS, BEAMS)
AVERAGE VALUE OF POISSON'S RATIO (FOR ISOTROPIC MATERIALS ONLY)

Figura 12.2 File ".out" analisi di fase 1 - contributi G2

Si rileva preliminarmente, quindi un perfetto accordo tra quanto calcolato per via alternativa e quanto implementato nel modello F.E.M.

$$G1+G2 \text{ F.E.M.} = 16266 \text{ kN} \cong G1+G2 \text{ check} = 16519 \text{ kN}$$

Per i contributi di carico indotti dai carichi mobili, si ipotizza, ai fini del controllo indipendente, una ripartizione "alla courbon" dei carichi posizionati trasversalmente secondo lo schema di figura, avente l'obiettivo di massimizzare il carico sulla trave laterale.

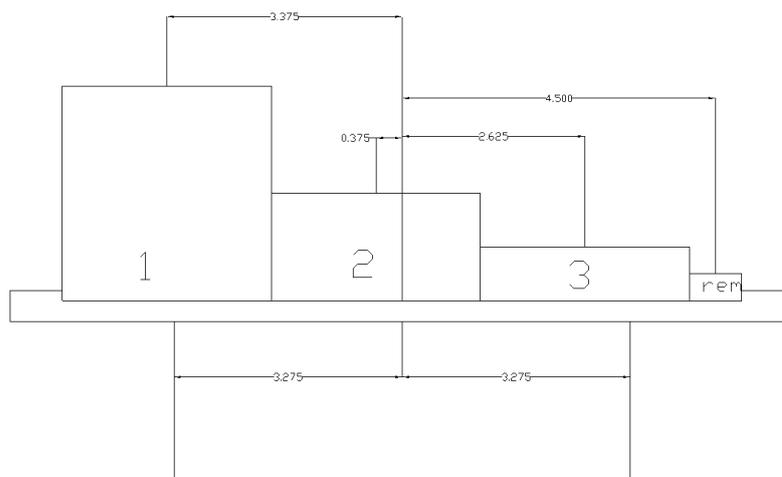


Figura 12.3 Disposizione carichi max m trave esterna

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

La tabella seguente riporta il calcolo dei coefficienti di ripartizione di ciascuna colonna di carico sulla trave esterna (gli effetti della corsia "rem." risultano sgravanti e non vengono pertanto considerati).

Carichi di trave (traffico, Q)									
					Coefficienti di ripartizione trave 1				
					TS (N)		UDL (N/m)		
				ei (m)	k(d1)	Qtot	Qi	qtot	qi
	di	di ²	e1	-3.375	1.02	300.00	304.58	27.00	27.41
d1	-3.275	10.73	e2	-0.375	0.56	200.00	111.45	7.50	4.18
d2	3.275	10.73	e3	2.625	0.10	100.00	9.92	7.50	0.74
			e4	4.5	-0.19		0.00	7.50	-1.40
n	0.5								
Sd ²	21.45								
						Qi (N)	425.95	qi (N/m)	30.93

Tabella 12.2 Calcolo coefficienti di ripartizione

Ai fini della massimizzazione delle azioni flettenti lungo la campata intermedia n. 2, il carico TS verrà posizionato a circa metà luce, ed il carico UDL sulla sola campata 2.

Qui di seguito si riportano i grafici di azione tagliante e momento flettente calcolato sulla base del modello semplificato "di controllo", e quello dedotto dalla modellazione F.E.M. per la somma dei contributi G1 + G2 + Q.

Scale: 1: 382.545
Zoom: 71.178
Eye: (-0.0257769, -0.99911, 0.033388)
G1+G2+Qk

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz (Units: N)
Diagram maximum 2.90081E6 at node 38 of element 38
Diagram minimum -2.90081E6 at node 14 of element 14
Diagram scale: 1: 3.44732E-6

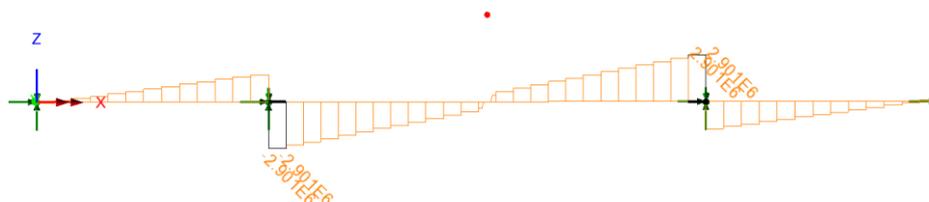


Figura 12.4 Fz - G1+G2+Q - F.E.M. controllo

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 382.545
Zoom: 71.178
Eye: (-0.0257769, -0.99911, 0.033388)
G1+G2+Qk

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: My (Units: N.m)
Diagram maximum 21.4254E6 at node 14 of element 13
Diagram minimum -21.1409E6 at Gauss point 3 of element 26
Diagram scale: 1: 0.466735E-6

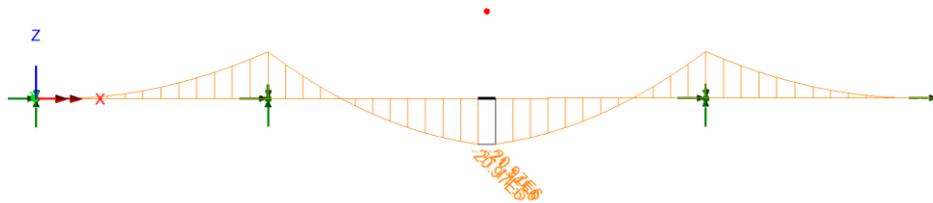


Figura 12.5 My - G1+G2+Q - F.E.M. controllo

Scale: 1: 336.666
Zoom: 75.4085
Eye: (-0.447397, -0.767573, 0.458985)
G1+G2+Qk

Diagram entity: Beam/Shell Slice Resultants
Diagram component: Fz (Units: N)
Diagram maximum 2.99786E6 at BeamShell1 Slice 17 (-X)
Diagram minimum -3.0129E6 at BeamShell1 Slice 7 (+X)
Diagram scale: 1: 3.31906E-6

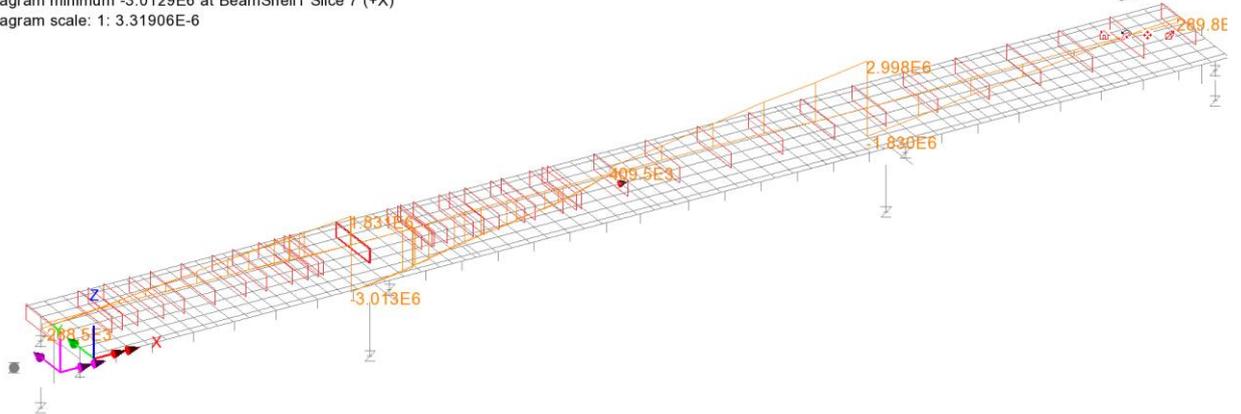


Figura 12.6 Fz - G1+G2+Q - modello F.E.M. originale

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Scale: 1: 336.666
Zoom: 75.4085
Eye: (-0.447397, -0.767573, 0.458985)
G1+G2+Qk

Diagram entity: Beam/Shell Slice Resultants
Diagram component: My (Units: N.m)
Diagram maximum 22.5057E6 at BeamShell1 Slice 7 (-X)
Diagram minimum -20.1806E6 at BeamShell1 Slice 12 (-X)
Diagram scale: 1: 0.444332E-6

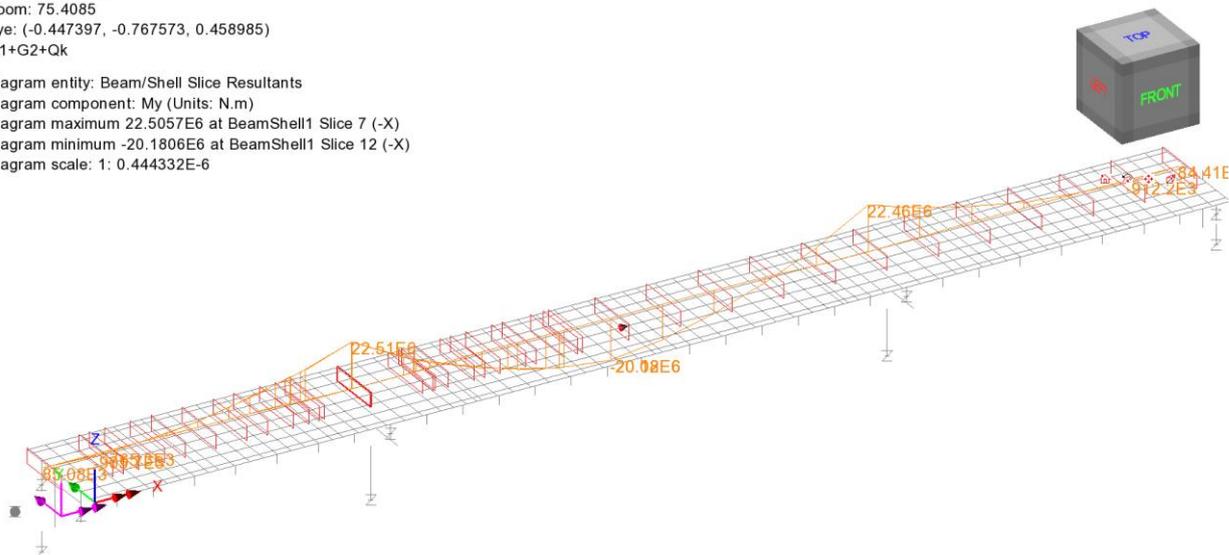


Figura 12.7 My - G1+G2+Q - modello F.E.M. originale

Il confronto dei risultati deve essere "letto" tenendo conto dei seguenti aspetti principali:

- la modellazione semplificata viene effettuata con riferimento ad un elemento monodimensionale omogeneo. Per questo non vengono colti gli effetti redistributivi dovuti alle differenti inerzie degli elementi lungo lo sviluppo, in particolare, non viene colto l'effetto indotto dall'ipotesi di soletta "cracked" in prossimità degli appoggi, effetto parzialmente compensato dalla presenza, in generale, di inerzie di sezioni metalliche considerevolmente inferiori nelle zone di campata.
- la modellazione semplificata viene condotta con riferimento ad uno schema di ripartizione che, per la particolare tipologia di struttura, non è in grado di cogliere il notevole effetto redistributivo introdotto dalla soletta, e che invece viene colto accuratamente nella modellazione F.E.M. condotta con elementi "shell".

Tali considerazioni consentono di giudicare il confronto tra i risultati ricavati pienamente soddisfacente.

1 ALLEGATO 1

1.1 SEZIONE C1_1

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x25 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	18x2235 mm, Inclinazione: 0
Soletta	4639x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 30 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	9.873E+4	1.791E+5	1.815E+5	1.668E+5	2.917E+5	1.133E+5
z _G (mm)	1000.253	1662.587	1673.662	1602.411	1978.09	1188.008
J _y (mm ⁴)	8.962E+10	1.865E+11	1.882E+11	1.777E+11	2.333E+11	1.168E+11
W _{y,0} (mm ³)	-8.96E+7	-1.122E+8	-1.124E+8	-1.109E+8	-1.179E+8	-9.828E+7
W _{y,1} (mm ³)	-9.333E+7	-1.15E+8	-1.152E+8	-1.137E+8	-1.204E+8	-1.017E+8
W _{y,3} (mm ³)	7.031E+7	3.046E+8	3.129E+8	2.642E+8	7.856E+8	1.074E+8
W _{y,4} (mm ³)	6.895E+7	2.927E+8	3.004E+8	2.547E+8	7.246E+8	1.05E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	2.675E+8	2.742E+8	2.345E+8	6.108E+8	9.962E+7
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	2.564E+8	2.627E+8	2.256E+8	5.663E+8	9.713E+7
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.151E+8	2.197E+8	1.915E+8	4.227E+8	8.7E+7
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	1.99E+8	2.031E+8	1.781E+8	3.751E+8	8.269E+7
S _{y,1} (mm ³)	3.529E+7	5.913E+7	5.953E+7	5.697E+7	7.049E+7	4.205E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.359E+7	8.283E+7	8.355E+7	7.894E+7	1.043E+8	5.391E+7
S _{y,3} (mm ³)	2.896E+7	7.945E+7	8.03E+7	7.487E+7	1.035E+8	4.328E+7
S _{y,4} (mm ³)	-3.725E-9	6.539E+7	6.649E+7	5.945E+7	9.654E+7	1.854E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.99E+0	-6.21E+5	2.59E-1	2.1E+5
2a	-5.42E-4	-2.18E+5	-5.42E+4	1.02E+5
2b	6.62E+3	9.74E+4	4.24E+4	-1.89E+5
Rit.Iso	-4.67E+6	0	-3.77E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	5.26E+3	-5.88E+4	-3.68E+4	2.18E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.25E+4	-1.58E+6	-7.44E+5	6.12E+5
Totale	-4.65E+6	-2.38E+6	-4.56E+6	7.57E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	$z_{pl}(mm)$	α	ψ	Classe
Anima	124.17	2280.85	0	-1.12	1
Piattabanda superiore	17.64				1
Piattabanda inferiore	11.02				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N_{Ed} (N)	-4.648E+6	M_{Ed} (Nm)	-4.56E+6	N_{Ed} (N)	-4.648E+6
N_{Rd} (N)	-5.975E+7	M_{Rd} (Nm)	-4.798E+7	M_{Ed} (Nm)	-4.56E+6
				M_{Rd} (Nm)	-4.941E+7
N_{Ed}/N_{Rd}	0.078	M_{Ed}/M_{Rd}	0.095	M_{Ed}/M_{Rd}	0.092

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	-0.3	0	0	0
σ_7	0	-0.3	-0.6	-42.7	0.5	0	0	-0.1	-0.1	-0.4	-1.7	-8.4	-8.9	0.023
σ_6	0	-0.2	-0.6	-39.9	0.5	0	0	-0.1	0	-0.3	-1.3	-7.5	-7.9	0.02
σ_5	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0	-0.2	0	0	0
σ_4	0	-0.2	-0.5	-38.1	0.5	0	0	-0.1	0	-0.3	-1	-7	-7.3	0.022
σ_3	0	-0.2	-0.5	-37.6	0.5	0	0	-0.1	0	-0.3	-0.9	-6.8	-7.2	0.021
σ_2	0	0	0	-25.7	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.001
σ_1	0	0.5	0.5	6.6	-0.4	0	0	0.2	0.3	0.4	6.2	7.4	8	0.024
σ_0	0	0.5	0.6	7.4	-0.4	0	0	0.2	0.3	0.4	6.4	7.7	8.3	0.024

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.024 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.48 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.78 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.16 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.58 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=124.167 > 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5}=53.952 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=4.329E+6$ N

Essendo:

$$a/h_w=1.79, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=6.589$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=3.915E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=4.139E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.522, \quad \lambda_w=1.589, \quad \tau_{cr}=81.2, \quad C=1102.5$$

$$M_{Ed}=-4.56E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-3.384E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.135$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=9.423E+6$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=4.329E+6$ N

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.549, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.607, \quad \eta_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.092$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.75E+0	-8.55E+5	3.5E-1	2.89E+5
2a	-5.42E-4	-2.18E+5	-5.42E+4	1.02E+5
2b	6.62E+3	9.74E+4	4.24E+4	-1.89E+5
Rit.Iso	-4.67E+6	0	-3.77E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-1.42E+4	-8.07E+4	-1.74E+4	9.37E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.25E+4	-1.58E+6	-7.44E+5	6.12E+5
Totale	-4.67E+6	-2.63E+6	-4.54E+6	9.08E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	124.17	2280.82	0	-1.07	1
Piattabanda superiore	17.64				1
Piattabanda inferiore	11.02				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale	Flessione semplice			Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-4.668E+6	M _{Ed} (Nm)	-4.541E+6	N _{Ed} (N)	-4.668E+6
N _{Rd} (N)	-5.975E+7	M _{Rd} (Nm)	-4.798E+7	M _{Ed} (Nm)	-4.541E+6
				M _{Rd} (Nm)	-4.941E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.078	M _{Ed} /M _{Rd}	0.095	M _{Ed} /M _{Rd}	0.092

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	-0.3	0	0	0
σ ₇	0	-0.3	-0.6	-42.7	0.5	0	0	-0.1	-0.1	-0.3	-1.7	-8.4	-8.8	0.023
σ ₆	0	-0.2	-0.6	-39.9	0.5	0	0	-0.1	-0.1	-0.3	-1.3	-7.5	-7.9	0.02
σ ₅	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0	-0.2	0	0	0
σ ₄	0	-0.2	-0.5	-38.1	0.5	0	0	-0.1	-0.1	-0.3	-1	-7	-7.3	0.022
σ ₃	0	-0.2	-0.5	-37.6	0.5	0	0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.9	-6.8	-7.2	0.021
σ ₂	0	0	0	-25.7	0.1	0	0	0.1	0	-0.1	0	0.1	0	0
σ ₁	0	0.5	0.5	6.6	-0.4	0	0	0.2	0.1	0	6.2	7.4	7.6	0.023
σ ₀	0	0.5	0.6	7.4	-0.4	0	0	0.2	0.1	0.1	6.4	7.7	7.9	0.023

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.023 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA
NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.48 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.78 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.16 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.58 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling
 $h_w/t_w=124.167 > 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5}=53.952$ Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=4.329E+6$ N

Essendo:

$a/h_w=1.79$, $\eta=1.2$, $K_\tau=6.589$
contributo anima: $V_{bw,Rd}=3.915E+6$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=4.139E+5$ N
 $\chi_w=0.522$, $\lambda_w=1.589$, $\tau_{cr}=81.2$, $C=1102.5$
 $M_{Ed}=-4.541E+6$ Nm, $M_{f,Rd}=-3.385E+7$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.134$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=9.423E+6$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=4.329E+6$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.608, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.672, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.092$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.07E+0	-6.43E+5	2.69E-1	2.17E+5
2a	-4.01E-4	-1.61E+5	-4.02E+4	7.59E+4
2b	5.51E+3	8.12E+4	3.54E+4	-1.58E+5
Rit.Iso	-3.89E+6	0	-3.14E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	4.38E+3	-4.9E+4	-3.07E+4	1.81E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	8.23E+3	-1.17E+6	-5.51E+5	4.51E+5
Totale	-3.88E+6	-1.94E+6	-3.73E+6	6.04E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	-0.2	0	0	0	0
σ_7	0	-0.2	-0.5	-35.5	0.5	0	0	0	-0.1	-0.3	-1.3	-6.3	-6.6	6.6	0.018
σ_6	0	-0.2	-0.4	-33.2	0.4	0	0	0	0	-0.3	-0.9	-5.6	-5.9	5.9	0.016
σ_5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0	0	0

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_4	0	-0.1	-0.4	-31.8	0.4	0	0	0	0	-0.3	-0.7	-5.2	-5.4	5.4	0.015
σ_3	0	-0.1	-0.4	-31.3	0.4	0	0	0	0	-0.2	-0.7	-5.1	-5.3	66.4	0.187
σ_2	0	0	0	-21.4	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	87.6	0.247
σ_1	0	0.3	0.4	5.5	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.3	4.6	5.5	5.9	69.5	0.196
σ_0	0	0.4	0.4	6.2	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.4	4.7	5.7	6.1	6.1	0.017
τ_4	0	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.2	-0.2		
τ_3	-11.5	-3.8	-3.3	1.9	1.7	0	0	-13.2	-1.2	-1	-28.7	-24	-38.2		
τ_2	-17.4	-4	-4.1	2	2.1	0	0	-19.4	-1.2	-1.3	-29	-29.9	-50.6		
τ_1	-14.1	-2.8	-3.2	1.4	1.6	0	0	-15.7	-0.8	-1	-19.6	-23.3	-40		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.247 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.24 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.48 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.99 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.34 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.07E+0	-6.43E+5	2.69E-1	2.17E+5
2a	-4.01E-4	-1.61E+5	-4.02E+4	7.59E+4
2b	5.51E+3	8.12E+4	3.54E+4	-1.58E+5
Rit.Iso	-3.89E+6	0	-3.14E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-1.19E+4	-6.73E+4	-1.45E+4	7.81E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	8.23E+3	-1.17E+6	-5.51E+5	4.51E+5
Totale	-3.89E+6	-1.96E+6	-3.71E+6	6.64E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_{id}	η_1
σ_8	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	-0.2	0	0	0	0
σ_7	0	-0.2	-0.5	-35.5	0.5	0	0	0	-0.1	-0.3	-1.3	-6.3	-6.5	6.5	0.018
σ_6	0	-0.2	-0.4	-33.2	0.4	0	0	0	-0.1	-0.3	-0.9	-5.6	-5.9	5.9	0.016
σ_5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0	0	0
σ_4	0	-0.1	-0.4	-31.8	0.4	0	0	0	-0.1	-0.2	-0.7	-5.2	-5.4	5.4	0.015
σ_3	0	-0.1	-0.4	-31.3	0.4	0	0	0	-0.1	-0.2	-0.7	-5.1	-5.3	67	0.189
σ_2	0	0	0	-21.4	0	0	0	0	0	-0.1	0	0.1	0	88.4	0.249
σ_1	0	0.3	0.4	5.5	-0.3	0	0	0.1	0.1	0	4.6	5.5	5.6	70.1	0.197
σ_0	0	0.4	0.4	6.2	-0.3	0	0	0.1	0.1	0	4.7	5.7	5.8	5.8	0.016
τ_4	0	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.2	-0.2		
τ_3	-11.5	-3.8	-3.3	1.9	1.7	0	0	-13.2	-1.7	-1.4	-28.7	-24	-38.6		
τ_2	-17.4	-4	-4.1	2	2.1	0	0	-19.4	-1.7	-1.7	-29	-29.9	-51.1		
τ_1	-14.1	-2.8	-3.2	1.4	1.6	0	0	-15.7	-1.1	-1.3	-19.6	-23.3	-40.3		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.249 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.24 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.48 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)

- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.99 N/mm²
4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.33 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.07E+0	-6.43E+5	2.69E-1	2.17E+5
2a	-4.01E-4	-1.61E+5	-4.02E+4	7.59E+4
2b	5.51E+3	8.12E+4	3.54E+4	-1.58E+5
Rit.Iso	-3.89E+6	0	-3.14E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	4.38E+3	-4.9E+4	-3.07E+4	1.81E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-5.38E+2	-7.22E+5	-3.47E+5	2.46E+5
Totale	-3.88E+6	-1.49E+6	-3.52E+6	3.99E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0
σ_7	0	-0.2	-0.5	-35.9	0.5	0	0	0	-0.1	-0.3	-0.8	-4.1	-4.4
σ_6	0	-0.2	-0.4	-33.6	0.4	0	0	0	0	-0.3	-0.6	-3.7	-3.9
σ_5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0
σ_4	0	-0.1	-0.4	-32.1	0.4	0	0	0	0	-0.3	-0.5	-3.4	-3.6
σ_3	0	-0.1	-0.4	-31.7	0.4	0	0	0	0	-0.3	-0.4	-3.3	-3.6
σ_2	0	0	0	-21.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
σ_1	0	0.3	0.4	5.3	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.3	2.9	3.4	3.8
σ_0	0	0.4	0.4	5.9	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.4	2.9	3.5	4

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.21 N/mm²
2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.46 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.05 N/mm²
4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.36 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmin)

	Anima
b (mm)	2235
σ_{sup} (N/mm ²)	-3.48
σ_{inf} (N/mm ²)	3.84
σ_{Ed} (N/mm ²)	3.48
K_{σ}	26.5
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.32
τ_{Ed} (N/mm ²)	33.1
$\sigma_{cr}(P)$ (N/mm ²)	326.55
$\sigma_{cr}(C)$ (N/mm ²)	3.84
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	326.55
K_{τ}	6.59
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.449
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.07E+0	-6.43E+5	2.69E-1	2.17E+5
2a	-4.01E-4	-1.61E+5	-4.02E+4	7.59E+4
2b	5.51E+3	8.12E+4	3.54E+4	-1.58E+5
Rit.Iso	-3.89E+6	0	-3.14E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-1.19E+4	-6.73E+4	-1.45E+4	7.81E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-5.38E+2	-7.22E+5	-3.47E+5	2.46E+5
Totale	-3.9E+6	-1.51E+6	-3.51E+6	4.59E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0
σ_7	0	-0.2	-0.5	-36.1	0.5	0	0	0	-0.1	-0.3	-0.8	-4.1	-4.4
σ_6	0	-0.2	-0.4	-33.8	0.4	0	0	0	-0.1	-0.3	-0.6	-3.7	-3.9
σ_5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0
σ_4	0	-0.1	-0.4	-32.3	0.4	0	0	0	-0.1	-0.3	-0.5	-3.4	-3.7
σ_3	0	-0.1	-0.4	-31.9	0.4	0	0	0	-0.1	-0.2	-0.4	-3.3	-3.6
σ_2	0	0	0	-21.9	0.1	0	0	0.1	0	-0.1	0	0	-0.1
σ_1	0	0.3	0.4	5.1	-0.3	0	0	0.1	0.1	0	2.9	3.4	3.5
σ_0	0	0.4	0.4	5.8	-0.3	0	0	0.1	0.1	0	2.9	3.5	3.6

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.2 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.45 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.04 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.35 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmin)

	Anima
b (mm)	2235
σ_{sup} (N/mm ²)	-3.57
σ_{inf} (N/mm ²)	3.52
σ_{Ed} (N/mm ²)	3.57
K_{σ}	23.48
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.32
τ_{Ed} (N/mm ²)	33.51
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	289.39
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	3.84
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	289.39
K_{τ}	6.59
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.454
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, n (m ⁻¹)	20
Diametro dei pioli, d (mm)	19
Altezza dei pioli, h (mm)	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, f_u (N/mm ²)	450
Coefficiente E_{cm} (N/mm ²)	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, f_{ck} (N/mm ²)	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 \gamma_v$, (N)	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$, (N)	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2})$, (N)	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1633.1
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	-727.5
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.445
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	v_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	-2.175E+5	6.539E+7	1.865E+11	-76.3
Fase 2b	9.739E+4	6.649E+7	1.882E+11	34.4
Fase 2c	0E+00	5.945E+7	1.777E+11	0
Fase 3a	-8.071E+4	9.654E+7	2.333E+11	-33.4
Fase 3b	-1.576E+6	9.654E+7	2.333E+11	-652.3
Totale				-727.5

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	979.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	-538.3
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.549
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	v_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	-1.611E+5	6.539E+7	1.865E+11	-56.5
Fase 2b	8.116E+4	6.649E+7	1.882E+11	28.7
Fase 2c	0E+00	5.945E+7	1.777E+11	0
Fase 3a	-6.726E+4	9.654E+7	2.333E+11	-27.8
Fase 3b	-1.166E+6	9.654E+7	2.333E+11	-482.6
Totale				-538.3

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.07E+0	-6.43E+5	2.69E-1	2.17E+5
2a	-4.01E-4	-1.61E+5	-4.02E+4	7.59E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	4.84E+4	-1.82E+5

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Rit.Iso	-3.89E+6	0	-3.14E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-1.49E+4	5.77E+4	5.13E+4	7.58E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-5.87E+1	5.58E+4	2.46E+4	-3.2E+4
3b max	-1.78E+2	-3.19E+5	-1.51E+5	1.07E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	1.3	0	1.2	0	0
σ_7	0	-0.2	-0.5	-35.5	0.6	0	0	0.1	0.5	0.1	0.3	-0.4	-1.7	-35.5	0.9	-36	-1.1	33.7
σ_6	0	-0.2	-0.4	-33.2	0.6	0	0	0	0.4	0	0.3	-0.3	-1.6	-33.3	0.8	-33.6	-1	1.8
σ_5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0
σ_4	0	-0.1	-0.4	-31.7	0.5	0	0	0	0.4	0	0.2	-0.2	-1.4	-31.8	0.7	-32	-0.9	1.7
σ_3	0	-0.1	-0.4	-31.3	0.5	0	0	0	0.3	0	0.2	-0.2	-1.4	-31.4	0.7	-31.6	-0.9	1.6
σ_2	0	0	0	-21.4	0.1	0	0	-0.1	-0.1	0	0	0	0	-21.5	-0.1	-21.5	-0.1	0
σ_1	0	0.3	0.4	5.4	-0.4	0	0	-0.5	-0.6	-0.2	-0.2	1.3	1.5	5.1	-0.9	6.6	0.8	1.7
σ_0	0	0.4	0.4	6.1	-0.4	0	0	-0.5	-0.7	-0.2	-0.3	1.3	1.5	5.7	-0.9	7.2	0.9	1.8
τ_4	0	-0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0	0	-0.1	-0.1	0.2
τ_3	-11.5	-3.8	-3.3	3.3	2.9	0	0	1.4	1.2	1.4	1.1	-7.9	-6.6	-9.2	-9.2	-18.5	-18.5	9.2
τ_2	-17.4	-4	-4.1	3.5	3.6	0	0	1.4	1.5	1.4	1.4	-7.9	-8.2	-15.1	-15.1	-24.4	-24.4	9.3
τ_1	-14.1	-2.8	-3.2	2.5	2.8	0	0	1	1.2	0.9	1.1	-5.4	-6.4	-12.5	-12.5	-18.8	-18.8	6.3
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.26 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.5 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.19 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.45 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	2.07E+0	-6.43E+5	2.69E-1	2.17E+5
2a	-4.01E-4	-1.61E+5	-4.02E+4	7.59E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	4.84E+4	-1.82E+5
Rit.Iso	-3.89E+6	0	-3.14E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.53E+4	-7.75E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-5.87E+1	5.58E+4	2.46E+4	-3.2E+4
3b max	-1.78E+2	-3.19E+5	-1.51E+5	1.07E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	1.3	0	1.2	0	0
σ_7	0	-0.2	-0.5	-35.5	0.6	0	0	0.1	0.4	0.1	0.3	-0.4	-1.7	-35.5	0.8	-35.9	-1.2	33.7
σ_6	0	-0.2	-0.4	-33.2	0.6	0	0	0.1	0.3	0	0.3	-0.3	-1.6	-33.2	0.7	-33.5	-1.1	1.8
σ_5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0
σ_4	0	-0.1	-0.4	-31.7	0.5	0	0	0.1	0.3	0	0.2	-0.2	-1.4	-31.7	0.7	-32	-1	1.7

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_3	0	-0.1	-0.4	-31.3	0.5	0	0	0.1	0.3	0	0.2	-0.2	-1.4	-31.3	0.7	-31.6	-1	1.6
σ_2	0	0	0	-21.4	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	-21.4	0.1	-21.4	0.1	0
σ_1	0	0.3	0.4	5.4	-0.4	0	0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	1.3	1.5	5.4	-0.4	6.9	1.3	1.7
σ_0	0	0.4	0.4	6.1	-0.4	0	0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	1.3	1.5	6	-0.5	7.5	1.3	1.8
τ_4	0	-0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.2
τ_3	-11.5	-3.8	-3.3	3.3	2.9	0	0	2	1.6	1.4	1.1	-7.9	-6.6	-8.7	-8.7	-17.9	-17.9	9.2
τ_2	-17.4	-4	-4.1	3.5	3.6	0	0	2	2.1	1.4	1.4	-7.9	-8.2	-14.5	-14.5	-23.8	-23.8	9.3
τ_1	-14.1	-2.8	-3.2	2.5	2.8	0	0	1.3	1.6	0.9	1.1	-5.4	-6.4	-12.2	-12.2	-18.5	-18.5	6.3
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.27 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.5 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.19 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.46 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.35 x 0.928 x 1 x 1 = 2.181 > 2 => 2 (Campata)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.53 x 0.928 x 1 x 1 = 2.348 (Campata)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Campata)
	Luce per il momento (m):	30
	Luce per il taglio (m):	12
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2):	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno per i pioli:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$	$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	3.35	92.593	0.036
Piattabanda inferiore	3.573	92.593	0.039
Anima	21.881	74.074	0.295
Giunzione piattabanda superiore $\Delta \sigma_{c,red} = K_s * \Delta \sigma_c = 1 \times 112 = 112 \text{ N/mm}^2$	3.348	82.963	0.04

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	3.573	77.564	0.046
Attacco anima-piattabanda superiore	3.273	82.963	0.039
Attacco anima-piattabanda inferiore	3.453	82.963	0.042
Attacco irrigidente verticale - anima	3.453	59.259	0.058
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	3.273	59.259	0.055
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	3.453	59.259	0.058
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	3.35	92.593	0.036
Piattabanda inferiore	3.573	92.593	0.039
Anima	21.881	74.074	0.295
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 1 \times 112 = 112 \text{ N/mm}^2$	3.348	82.963	0.04
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	3.573	77.564	0.046
Attacco anima-piattabanda superiore	3.273	82.963	0.039
Attacco anima-piattabanda inferiore	3.453	82.963	0.042
Attacco irrigidente verticale - anima	3.453	59.259	0.058
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	3.273	59.259	0.055
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	3.453	59.259	0.058
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 40.45 / (90 / 1.15) = 0.517$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 3.35 / (80 / 1.35) = 0.057$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.517 + 0.057 = 0.573$
VERIFICA SODDISFATTA	

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 40.45 / (90 / 1.15) = 0.517$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 3.35 / (80 / 1.35) = 0.057$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.517 + 0.057 = 0.573$
VERIFICA SODDISFATTA	

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

1.2 SEZIONE C2_6

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x30 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	18x2230 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5530x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.031E+5	2.066E+5	2.095E+5	1.919E+5	3.408E+5	1.282E+5
z _G (mm)	1054.651	1765.93	1775.924	1711.468	2047.137	1328.985
J _y (mm ⁴)	9.645E+10	2.012E+11	2.027E+11	1.931E+11	2.433E+11	1.363E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9.146E+7	-1.139E+8	-1.141E+8	-1.128E+8	-1.188E+8	-1.026E+8
W _{y,1} (mm ³)	-9.506E+7	-1.166E+8	-1.167E+8	-1.155E+8	-1.212E+8	-1.058E+8
W _{y,3} (mm ³)	7.936E+7	3.991E+8	4.102E+8	3.457E+8	1.092E+9	1.449E+8
W _{y,4} (mm ³)	7.745E+7	3.767E+8	3.867E+8	3.28E+8	9.621E+8	1.404E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.386E+8	3.47E+8	2.977E+8	7.776E+8	1.322E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.213E+8	3.289E+8	2.837E+8	7.055E+8	1.283E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.64E+8	2.695E+8	2.364E+8	5.059E+8	1.137E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.412E+8	2.459E+8	2.173E+8	4.401E+8	1.073E+8
S _{y,1} (mm ³)	3.725E+7	6.285E+7	6.321E+7	6.089E+7	7.298E+7	4.712E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.651E+7	8.966E+7	9.033E+7	8.604E+7	1.092E+8	6.208E+7
S _{y,3} (mm ³)	3.322E+7	8.738E+7	8.814E+7	8.323E+7	1.088E+8	5.411E+7
S _{y,4} (mm ³)	-1.118E-8	7.336E+7	7.439E+7	6.774E+7	1.024E+8	2.829E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	-8.59E-1	9.49E+5	9.45E+5	-2.92E+5
2a	-5.55E-4	4.15E+5	1.92E+6	-1.44E+5
2b	7.96E+3	1.68E+5	4.01E+6	2.86E+5
Rit.Iso	-5.57E+6	0	-3.92E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.07E+4	9.61E+4	2.31E+6	-3.85E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-4.17E+5	3.67E+5	8.64E+6	-1.13E+5
Totale	-5.97E+6	1.99E+6	1.39E+7	-3.01E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

	c/t	$z_{pl}(mm)$	α	ψ	Classe
Anima	123.89	2199.69	0.97	-0.73	4
Piattabanda superiore	14.7				1
Piattabanda inferiore	11.02				3
classe della sezione					4

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N_{Ed} (N)	-5.969E+6	M_{Ed} (Nm)	1.39E+7	N_{Ed} (N)	-5.969E+6
N_{Rd} (N)	-6.916E+7	M_{Rd} (Nm)	4.26E+7	M_{Ed} (Nm)	1.39E+7
				M_{Rd} (Nm)	4.315E+7
N_{Ed}/N_{Rd}	0.086	M_{Ed}/M_{Rd}	0.326	M_{Ed}/M_{Rd}	0.322

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8	0	0.5	0	2.6	0	0	0	0	0.8	0	2.9	0	0	0
σ_7	0	7.3	16.8	-26.2	35.3	0	0	52.2	4.6	20.4	15.9	72.7	145.3	0.371
σ_6	0	6	14.9	-26.3	31.3	0	0	46.3	3.3	18.1	11	64.1	128.5	0.328
σ_5	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.5	0	1.6	0	0	0
σ_4	12.2	5.1	13.6	-26.3	28.6	0	0	54.5	2.4	16.6	7.8	58.3	129.3	0.382
σ_3	11.9	4.8	13.2	-26.3	27.7	0	0	52.9	2.1	16	6.7	56.4	125.3	0.371
σ_2	0	0	0	-26.5	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-1.2	-3.3	-3.1	0.009
σ_1	-9.9	-16.4	-18.1	-27.3	-37.8	0	0	-65.9	-19	-21.8	-72.5	-85	-172.6	0.511
σ_0	-10.3	-16.8	-18.7	-27.3	-39	0	0	-68	-19.4	-22.5	-73.9	-87.5	-178	0.526

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.526 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.06 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.92 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.86 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.98 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β^k	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda superiore DX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda inferiore SX	450	40	---	---	---	1	18000
Piattabanda inferiore DX	450	40	---	---	---	1	18000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.38
σ_{sup} (N/mm ²)	123.32

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_{inf} (N/mm ²)	-183.56
ψ	-0.67
K_{σ}	16.45
λ_p	1.32
b_c (mm)	1333.84
$b_{c\ sup}$ (mm)	800.31
$b_{c\ sup}$ (mm)	533.54
ρ_{loc}	0.68
b_{ceff} (mm)	912.27
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	547.36
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	364.91
ϕ_{Foro} (mm)	421.58

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
A_c Edge sup	1.441E+4	973.7	7.689E+8
$A_{c\ 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c\ 2}$	0E+00	0	0E+00
A_c Edge inf	9.604E+3	306.8	2.278E+8
$A_{c\ tot}$	2.401E+4	706.9	3.56E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c,eff}$ Edge sup	9.853E+3	1100.2	2.46E+8
$A_{c,eff\ 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff\ 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ Edge inf	6.568E+3	222.5	7.289E+7
$A_{c,eff\ tot}$	1.642E+4	749.1	3.355E+9
$A_{c,eff,loc}$	0E+00		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	<i>Piastra</i>		<i>Colonna</i>
$\sigma_{cr,p}$ (p)	203.64	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	9.611
λ_p	1.32	λ_c	0.684
ρ_p	0.684	ρ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
Edge sup	9.853E+3	1100.2	2.46E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	6.568E+3	222.5	7.289E+7
Totale	1.642E+4	749.1	3.355E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	ΔA (mm ²)	z_G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-7.588E+3	615.7	-1.124E+8
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2a</i>	<i>Fase 2b</i>	<i>Fase 2c</i>	<i>Fase 3</i>	<i>Fessurata</i>
A (mm ²)	9.555E+4	1.99E+5	3.332E+5	1.844E+5	3.332E+5	1.206E+5
z_G (mm)	1089.511	1809.794	2079.738	1756.574	2079.738	1373.878
Δz_{Geff} (mm)	-34.86	-43.86	-32.6	-45.11	-32.6	-44.89
$J_{y,eff}$ (mm ⁴)	9.476E+10	1.906E+11	2.273E+11	1.835E+11	2.273E+11	1.321E+11

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$W_{y,0eff}$ (mm ³)	-8.698E+7	-1.053E+8	-1.093E+8	-1.044E+8	-1.093E+8	-9.616E+7
$W_{y,1eff}$ (mm ³)	-9.029E+7	-1.077E+8	-1.114E+8	-1.069E+8	-1.114E+8	-9.905E+7
$W_{y,3eff}$ (mm ³)	8.028E+7	4.142E+8	1.195E+9	3.573E+8	1.195E+9	1.474E+8
$W_{y,4eff}$ (mm ³)	7.829E+7	3.889E+8	1.032E+9	3.376E+8	1.032E+9	1.427E+8
$W_{y,5eff}$ (mm ³)	1E+300	3.465E+8	8.109E+8	3.04E+8	8.109E+8	1.34E+8
$W_{y,6eff}$ (mm ³)	1E+300	3.274E+8	7.278E+8	2.887E+8	7.278E+8	1.298E+8
$W_{y,7eff}$ (mm ³)	1E+300	2.654E+8	5.07E+8	2.378E+8	5.07E+8	1.145E+8
$W_{y,8eff}$ (mm ³)	1E+300	2.412E+8	4.368E+8	2.175E+8	4.368E+8	1.078E+8
$S_{y,1eff}$ (mm ³)	3.85E+7	6.443E+7	7.415E+7	6.252E+7	7.415E+7	4.874E+7
$S_{y,2eff}$ (mm ³)	4.482E+7	8.356E+7	1.005E+8	8.038E+7	1.005E+8	5.9E+7
$S_{y,3eff}$ (mm ³)	3.228E+7	8.165E+7	1.002E+8	7.801E+7	1.002E+8	5.177E+7
$S_{y,4eff}$ (mm ³)	1.845E-291	6.882E+7	9.462E+7	6.374E+7	9.462E+7	2.717E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	7.43
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	2.996E-2	2.493E-5	-3.573E+2	0E+00	-4.811E+2	1.874E+4
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	2.996E-2	2.435E-5	2.425E+5	0E+00	-3.494E+2	1.361E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8	0	0.5	0	2.6	0	0	0	0	0.9	0	3	0	0	0
σ_7	0	7.2	16.7	-26.3	35.1	0	0	51.8	4.6	20.3	15.8	72.2	144.3	0.369
σ_6	0	5.9	14.8	-26.6	31	0	0	45.7	3.2	17.9	10.6	63.3	126.9	0.324
σ_5	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.5	0	1.5	0	0	0
σ_4	12.1	4.9	13.4	-26.7	28.2	0	0	53.7	2.3	16.3	7.1	57.2	127.2	0.376
σ_3	11.8	4.6	13	-26.8	27.3	0	0	52	2	15.8	6	55.3	123.1	0.364
σ_2	0	0	0	-27.5	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-1.3	-3.5	-3.3	0.01
σ_1	-10.5	-17.8	-19.3	-30.6	-40.4	0	0	-70.2	-20.7	-23.2	-78.9	-90.9	-184.4	0.545
σ_0	-10.9	-18.2	-19.9	-30.7	-41.6	0	0	-72.4	-21.1	-23.9	-80.4	-93.5	-189.9	0.562

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.562 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.06 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.89 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.89 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.86 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w / t_w = 123.889 > 31 / \eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.929 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 4.155E+6$ N

Essendo:

$$a/h_w = 1.794, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 6.583$$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

contributo anima: $V_{bw,Rd} = 3.914E+6$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd} = 2.411E+5$ N
 $\chi_w = 0.523$, $\lambda_{tw} = 1.586$, $\tau_{cr} = 81.5$, $C = 1103$
 $M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.826E+7$ Nm, $M_{f,Rd} = 2.792E+7$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.654$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 9.402E+6$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 4.155E+6$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.48, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.51, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.562$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	-8.59E-1	9.49E+5	9.45E+5	-2.92E+5
2a	-5.55E-4	4.15E+5	1.92E+6	-1.44E+5
2b	7.96E+3	1.68E+5	4.01E+6	2.86E+5
Rit.Iso	-5.57E+6	0	-3.92E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.07E+4	9.61E+4	2.31E+6	-3.85E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-3.32E+5	1.61E+6	-1.93E+5	-5.51E+5
Totale	-5.88E+6	3.24E+6	5.07E+6	-7.39E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	123.89	2192.68	0.97	-0.73	4
Piattabanda superiore	14.7				1
Piattabanda inferiore	11.02				3
classe della sezione					4

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-5.884E+6	M _{Ed} (Nm)	5.068E+6	N _{Ed} (N)	-5.884E+6
N _{Rd} (N)	-6.916E+7	M _{Rd} (Nm)	4.26E+7	M _{Ed} (Nm)	5.068E+6
				M _{Rd} (Nm)	4.317E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.085	M _{Ed} /M _{Rd}	0.119	M _{Ed} /M _{Rd}	0.117

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.5	0	2.6	0	0	0	0	0.8	0	-0.2	0	0	0
σ ₇	0	7.3	16.8	-26.2	35.3	0	0	52.2	4.6	20.4	-1.4	-4.3	68.3	0.175
σ ₆	0	6	14.9	-26.3	31.3	0	0	46.3	3.3	18.1	-1.2	-4.1	60.3	0.154

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_5	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.5	0	-0.2	0	0	0
σ_4	12.2	5.1	13.6	-26.3	28.6	0	0	54.5	2.4	16.6	-1.2	-4	67.1	0.198
σ_3	11.9	4.8	13.2	-26.3	27.7	0	0	52.9	2.1	16	-1.2	-3.9	65	0.192
σ_2	0	0	0	-26.5	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-1	-2.6	-2.4	0.007
σ_1	-9.9	-16.4	-18.1	-27.3	-37.8	0	0	-65.9	-19	-21.8	0.6	-0.8	-88.4	0.262
σ_0	-10.3	-16.8	-18.7	-27.3	-39	0	0	-68	-19.4	-22.5	0.6	-0.7	-91.2	0.27

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.27 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.06 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.92 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.68 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.2 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β^k	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda superiore DX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda inferiore SX	450	40	---	---	---	1	18000
Piattabanda inferiore DX	450	40	---	---	---	1	18000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmax)

Anima	
b (mm)	2230
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.38
σ_{sup} (N/mm ²)	63.99
σ_{inf} (N/mm ²)	-93.95
ψ	-0.68
K_σ	16.63
λ_p	1.31
b_c (mm)	1326.53
$b_{c, sup}$ (mm)	795.92
$b_{c, sup}$ (mm)	530.61
ρ_{loc}	0.69
b_{ceff} (mm)	912.07
$b_{ceff, sup}$ (mm)	547.24
$b_{ceff, sup}$ (mm)	364.83
ϕ_{Foro} (mm)	414.46

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, Edge sup}$	1.433E+4	968.6	7.563E+8
$A_{c, 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, Edge inf}$	9.551E+3	305.3	2.241E+8
$A_{c, tot}$	2.388E+4	703.3	3.501E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, eff Edge sup}$	9.85E+3	1092.9	2.458E+8
$A_{c, eff 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, eff 2}$	0E+00	0	0E+00

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

A _{c,eff} Edge inf	6.567E+3	222.4	7.284E+7
A _{c,eff} tot	1.642E+4	744.7	3.304E+9
A _{c,eff,loc}	0E+00		

Coefficienti di riduzione per instabilità globale dell'anima (Comb. Vmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	205.87	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	9.611
λ_p	1.313	λ_c	0.688
ρ_p	0.688	ρ_c	

Anima depurata per instabilità locale e globale dell'anima (Comb. Vmax)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
Edge sup	9.85E+3	1092.9	2.458E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	6.567E+3	222.4	7.284E+7
Totale	1.642E+4	744.7	3.304E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmax)

	ΔA (mm ²)	z _G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-7.46E+3	612.1	-1.068E+8
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	9.568E+4	1.991E+5	3.333E+5	1.845E+5	3.333E+5	1.207E+5
z _G (mm)	1089.161	1809.162	2079.257	1755.929	2079.257	1373.298
Δz_{Geff} (mm)	-34.51	-43.23	-32.12	-44.46	-32.12	-44.31
J _{y,eff} (mm ⁴)	9.477E+10	1.908E+11	2.275E+11	1.836E+11	2.275E+11	1.322E+11
W _{y,0eff} (mm ³)	-8.701E+7	-1.054E+8	-1.094E+8	-1.045E+8	-1.094E+8	-9.623E+7
W _{y,1eff} (mm ³)	-9.033E+7	-1.078E+8	-1.115E+8	-1.07E+8	-1.115E+8	-9.912E+7
W _{y,3eff} (mm ³)	8.026E+7	4.139E+8	1.193E+9	3.571E+8	1.193E+9	1.474E+8
W _{y,4eff} (mm ³)	7.827E+7	3.886E+8	1.03E+9	3.374E+8	1.03E+9	1.426E+8
W _{y,5eff} (mm ³)	1E+300	3.463E+8	8.103E+8	3.039E+8	8.103E+8	1.339E+8
W _{y,6eff} (mm ³)	1E+300	3.273E+8	7.274E+8	2.886E+8	7.274E+8	1.297E+8
W _{y,7eff} (mm ³)	1E+300	2.654E+8	5.069E+8	2.378E+8	5.069E+8	1.145E+8
W _{y,8eff} (mm ³)	1E+300	2.412E+8	4.368E+8	2.175E+8	4.368E+8	1.077E+8
S _{y,1eff} (mm ³)	3.849E+7	6.441E+7	7.413E+7	6.249E+7	7.413E+7	4.872E+7
S _{y,2eff} (mm ³)	4.484E+7	8.365E+7	1.006E+8	8.046E+7	1.006E+8	5.904E+7
S _{y,3eff} (mm ³)	3.229E+7	8.174E+7	1.003E+8	7.808E+7	1.003E+8	5.18E+7
S _{y,4eff} (mm ³)	1.846E-291	6.889E+7	9.473E+7	6.38E+7	9.473E+7	2.719E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	7.31
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	2.965E-2	2.46E-5	-3.526E+2	0E+00	-4.749E+2	1.472E+4
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	2.965E-2	2.4E-5	2.39E+5	0E+00	-3.442E+2	1.067E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8	0	0.5	0	2.6	0	0	0	0	0.9	0	-0.2	0	0	0
σ_7	0	7.2	16.7	-26.3	35.1	0	0	51.8	4.6	20.3	-1.4	-4.3	67.8	0.173
σ_6	0	5.9	14.8	-26.6	31	0	0	45.7	3.2	17.9	-1.2	-4.1	59.5	0.152
σ_5	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.5	0	-0.2	0	0	0
σ_4	12.1	4.9	13.4	-26.7	28.2	0	0	53.7	2.3	16.3	-1.2	-4	66	0.195
σ_3	11.8	4.6	13	-26.8	27.3	0	0	52	2	15.8	-1.1	-4	63.9	0.189
σ_2	0	0	0	-27.5	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-1	-2.8	-2.6	0.008
σ_1	-10.5	-17.8	-19.3	-30.6	-40.4	0	0	-70.2	-20.7	-23.2	0.6	-1	-94.4	0.279
σ_0	-10.9	-18.2	-19.9	-30.6	-41.6	0	0	-72.4	-21.1	-23.9	0.7	-0.9	-97.2	0.287

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.287 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.06 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.89 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.69 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.16 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 123.889 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.929 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 4.288E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.794, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 6.583$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 3.914E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 3.741E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.523, \quad \lambda_w = 1.586, \quad \tau_{cr} = 81.5, \quad C = 1103$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 9.354E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 2.794E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.335$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 9.402E+6 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 4.288E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.755, \quad (= \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.827, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.287$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.24E+0	6.28E+5	-1.1E+6	-1.91E+5
2a	-4.11E-4	3.07E+5	1.42E+6	-1.07E+5
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.34E+6	2.38E+5
Rit.Iso	-4.64E+6	0	-3.27E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	1.93E+6	-3.21E+4

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-2.87E+5	2.71E+5	6.4E+6	-8.35E+4
Totale	-4.91E+6	1.43E+6	8.71E+6	-1.75E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.3	0	2.2	0	0	0	0	0.7	0	2.2	0	0	0	0
σ_7	0	5.4	12.5	-21.9	29.4	0	0	41.9	3.8	17	11.8	54	112.9	112.9	0.314
σ_6	0	4.4	11.1	-21.9	26.1	0	0	37.2	2.8	15.1	8.2	47.6	99.9	99.9	0.277
σ_5	0	0.2	0	2.2	0	0	0	0	0.4	0	1.2	0	0	0	0
σ_4	-14.2	3.8	10.1	-21.9	23.8	0	0	19.7	2	13.8	5.8	43.3	76.9	76.9	0.216
σ_3	-13.9	3.6	9.8	-21.9	23.1	0	0	19	1.8	13.4	5	41.9	74.3	90.3	0.254
σ_2	0	0	0	-22.1	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-0.8	-2.2	-2.1	64.1	0.181
σ_1	11.6	-12.2	-13.4	-22.7	-31.5	0	0	-33.4	-15.9	-18.1	-53.6	-62.7	-114.2	124.6	0.351
σ_0	12	-12.5	-13.8	-22.8	-32.5	0	0	-34.3	-16.2	-18.7	-54.7	-64.6	-117.6	117.6	0.331
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2		
τ_3	12	7.4	6.8	3.4	3.1	0	0	21.9	2	1.8	6.7	6	29.6		
τ_2	16.8	7.6	7.8	3.5	3.5	0	0	28.1	2	2	6.8	6.9	37		
τ_1	13.5	5.3	5.9	2.4	2.7	0	0	22.1	1.3	1.5	4.5	5.2	28.8		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.351 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.51 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.4 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.41 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.99 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.24E+0	6.28E+5	-1.1E+6	-1.91E+5
2a	-4.11E-4	3.07E+5	1.42E+6	-1.07E+5
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.34E+6	2.38E+5
Rit.Iso	-4.64E+6	0	-3.27E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	1.93E+6	-3.21E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-2.24E+5	1.19E+6	-1.53E+5	-4.08E+5
Totale	-4.85E+6	2.35E+6	2.17E+6	-4.99E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.3	0	2.2	0	0	0	0	0.7	0	-0.2	0	0	0	0
σ_7	0	5.4	12.5	-21.9	29.4	0	0	41.9	3.8	17	-1	-3.1	55.8	55.8	0.155
σ_6	0	4.4	11.1	-21.9	26.1	0	0	37.2	2.8	15.1	-0.9	-2.9	49.3	49.3	0.137
σ_5	0	0.2	0	2.2	0	0	0	0	0.4	0	-0.1	0	0	0	0
σ_4	-14.2	3.8	10.1	-21.9	23.8	0	0	19.7	2	13.8	-0.8	-2.8	30.7	30.7	0.087
σ_3	-13.9	3.6	9.8	-21.9	23.1	0	0	19	1.8	13.4	-0.8	-2.8	29.6	91.4	0.257
σ_2	0	0	0	-22.1	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-0.7	-1.7	-1.6	104.5	0.294
σ_1	11.6	-12.2	-13.4	-22.7	-31.5	0	0	-33.4	-15.9	-18.1	0.6	-0.3	-51.8	95.7	0.27

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_0	12	-12.5	-13.8	-22.8	-32.5	0	0	-34.3	-16.2	-18.7	0.6	-0.3	-53.3	53.3	0.15
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.6	0.3	0.4		
τ_3	12	7.4	6.8	3.4	3.1	0	0	21.9	2	1.8	29.6	26.3	49.9		
τ_2	16.8	7.6	7.8	3.5	3.5	0	0	28.1	2	2	29.7	30.2	60.3		
τ_1	13.5	5.3	5.9	2.4	2.7	0	0	22.1	1.3	1.5	19.9	22.9	46.5		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.294 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.51 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.4 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.05 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.67 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.24E+0	6.28E+5	-1.1E+6	-1.91E+5
2a	-4.11E-4	3.07E+5	1.42E+6	-1.07E+5
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.34E+6	2.38E+5
Rit.Iso	-4.64E+6	0	-3.27E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	1.93E+6	-3.21E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-4.63E+4	1.5E+5	3.56E+6	-4.72E+4
Totale	-4.67E+6	1.3E+6	5.87E+6	-1.39E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.3	0	2.2	0	0	0	0	0.7	0	1.3	0	0
σ_7	0	5.3	12.4	-22	29.2	0	0	41.6	3.8	16.9	6.9	30.6	89.1
σ_6	0	4.3	10.9	-22.2	25.7	0	0	36.7	2.7	14.9	4.7	27	78.5
σ_5	0	0.2	0	2.1	0	0	0	0	0.4	0	0.7	0	0
σ_4	-14	3.6	9.9	-22.3	23.4	0	0	19.3	1.9	13.5	3.3	24.5	57.3
σ_3	-13.7	3.4	9.6	-22.4	22.7	0	0	18.6	1.6	13.1	2.8	23.7	55.4
σ_2	0	0	0	-23.1	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-0.1	-0.4	-0.3
σ_1	12.2	-13.3	-14.4	-25.8	-33.8	0	0	-36	-17.4	-19.5	-32.3	-36.5	-92
σ_0	12.7	-13.6	-14.8	-25.9	-34.9	0	0	-37	-17.7	-20.1	-32.9	-37.6	-94.6

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.5 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.38 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.5 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.43 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmax)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{sup} (N/mm ²)	55.49
σ_{inf} (N/mm ²)	-91.57

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_{Ed} (N/mm ²)	91.57
K_{σ}	15.21
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.38
τ_{Ed} (N/mm ²)	29.12
$\sigma_{cr}(P)$ (N/mm ²)	188.34
$\sigma_{cr}(C)$ (N/mm ²)	3.84
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	188.34
K_{τ}	6.58
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.625
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.24E+0	6.28E+5	-1.1E+6	-1.91E+5
2a	-4.11E-4	3.07E+5	1.42E+6	-1.07E+5
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.34E+6	2.38E+5
Rit.Iso	-4.64E+6	0	-3.27E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	1.93E+6	-3.21E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-3.73E+3	7.17E+5	-1.02E+6	-2.33E+5
Totale	-4.63E+6	1.87E+6	1.3E+6	-3.24E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.3	0	2.2	0	0	0	0	0.7	0	-0.4	0	0
σ_7	0	5.3	12.4	-22	29.1	0	0	41.5	3.8	16.8	-2	-8.9	49.4
σ_6	0	4.3	10.9	-22.2	25.7	0	0	36.6	2.6	14.9	-1.4	-7.9	43.6
σ_5	0	0.2	0	2.1	0	0	0	0	0.4	0	-0.2	0	0
σ_4	-14	3.6	9.9	-22.4	23.4	0	0	19.2	1.9	13.5	-1	-7.2	25.6
σ_3	-13.7	3.4	9.6	-22.4	22.6	0	0	18.5	1.6	13.1	-0.8	-6.9	24.6
σ_2	0	0	0	-23.2	0.1	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1
σ_1	12.2	-13.3	-14.5	-26.1	-34	0	0	-36.2	-17.5	-19.5	9.3	10.4	-45.4
σ_0	12.7	-13.6	-14.9	-26.2	-35	0	0	-37.2	-17.9	-20.1	9.5	10.7	-46.6

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.5 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.37 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.84 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.55 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmax)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{sup} (N/mm ²)	24.72
σ_{inf} (N/mm ²)	-45.15
σ_{Ed} (N/mm ²)	45.15
K_{σ}	14.19

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.38
τ_{Ed} (N/mm ²)	41.69
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	175.61
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	3.84
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	175.61
K_{τ}	6.58
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.619
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, n (m ⁻¹)	20
Diametro dei pioli, d (mm)	19
Altezza dei pioli, h (mm)	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, f_u (N/mm ²)	450
Coefficiente E_{cm} (N/mm ²)	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, f_{ck} (N/mm ²)	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 \gamma_v$, (N)	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$, (N)	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2})$, (N)	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmax)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1633.1
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	921.3
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.564
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmax)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4eff}$ (mm ³)	$J_{y,eff}$ (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	4.149E+5	6.889E+7	1.908E+11	149.8
Fase 2b	1.68E+5	6.982E+7	1.921E+11	61.1
Fase 2c	0E+00	6.38E+7	1.836E+11	0
Fase 3a	9.614E+4	9.473E+7	2.275E+11	40
Fase 3b	1.61E+6	9.473E+7	2.275E+11	670.3
Totale				921.3

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmax)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	979.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	698.7
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.713
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmax)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
------	--------------	------------------------------	--------------------------	-----------------

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Fase 2a	3.073E+5	7.336E+7	2.012E+11	112.1
Fase 2b	1.4E+5	7.439E+7	2.027E+11	51.4
Fase 2c	0E+00	6.774E+7	1.931E+11	0
Fase 3a	8.012E+4	1.024E+8	2.433E+11	33.7
Fase 3b	1.192E+6	1.024E+8	2.433E+11	501.5
Totale				698.7

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.24E+0	6.28E+5	-1.1E+6	-1.91E+5
2a	-4.11E-4	3.07E+5	1.42E+6	-1.07E+5
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.34E+6	2.38E+5
Rit.Iso	-4.64E+6	0	-3.27E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	1.93E+6	-3.21E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-2.47E+4	5.92E+4	1.38E+6	-1.89E+4
3b max	1.17E+4	2.89E+5	-1.07E+6	-1.1E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.3	0	2.2	0	0	0	0.7	0	0.5	0	-0.4	0	3.7	0	2.8	0	0
σ_7	0	5.4	12.5	-21.9	29.4	0	0	3.8	17	2.7	12	-2.1	-9.3	-10	70.9	-14.7	49.6	27
σ_6	0	4.4	11.1	-21.9	26.1	0	0	2.8	15.1	1.9	10.6	-1.5	-8.3	-12.8	62.8	-16.2	44	18.8
σ_5	0	0.2	0	2.2	0	0	0	0.4	0	0.3	0	-0.2	0	3.1	0	2.6	0	0
σ_4	-14.2	3.8	10.1	-21.9	23.8	0	0	2	13.8	1.4	9.7	-1.1	-7.5	-29	43.2	-31.4	26	17.2
σ_3	-13.9	3.6	9.8	-21.9	23.1	0	0	1.8	13.4	1.2	9.3	-0.9	-7.3	-29.3	41.8	-31.4	25.1	16.7
σ_2	0	0	0	-22.1	0.1	0	0	0	0.1	-0.1	-0.2	0	0.1	-22.2	-0.1	-22.1	0.2	0.3
σ_1	11.6	-12.2	-13.4	-22.7	-31.5	0	0	-15.9	-18.1	-11.5	-13.3	8.9	10.2	-50.7	-64.8	-30.3	-41.3	23.5
σ_0	12	-12.5	-13.8	-22.8	-32.5	0	0	-16.2	-18.7	-11.7	-13.7	9	10.5	-51.1	-66.7	-30.3	-42.5	24.2
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.1
τ_3	12	7.4	6.8	3.4	3.1	0	0	2	1.8	1.5	1.3	7.2	6.4	26.3	26.3	32	32	5.7
τ_2	16.8	7.6	7.8	3.5	3.5	0	0	2	2	1.5	1.5	7.2	7.3	31.4	31.4	37.1	37.1	5.7
τ_1	13.5	5.3	5.9	2.4	2.7	0	0	1.3	1.5	1	1.1	4.8	5.5	23.5	23.5	27.4	27.4	3.8
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 3.7 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 3.08 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 2.83 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 2.59 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.24E+0	6.28E+5	-1.1E+6	-1.91E+5
2a	-4.11E-4	3.07E+5	1.42E+6	-1.07E+5
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.34E+6	2.38E+5
Rit.Iso	-4.64E+6	0	-3.27E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	1.93E+6	-3.21E+4

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	1.1E+4	2.89E+5	-9.32E+5	-1.12E+5
3b max	6.34E+3	-1.13E+4	-5.52E+5	-5.61E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.3	0	2.2	0	0	0	0.7	0	-0.3	0	-0.2	0	2.9	0	3	0	0
σ_7	0	5.4	12.5	-21.9	29.4	0	0	3.8	17	-1.8	-8.1	-1.1	-4.8	-14.5	50.8	-13.7	54.1	4.5
σ_6	0	4.4	11.1	-21.9	26.1	0	0	2.8	15.1	-1.3	-7.2	-0.8	-4.3	-16	45.1	-15.5	48	2.9
σ_5	0	0.2	0	2.2	0	0	0	0.4	0	-0.2	0	-0.1	0	2.6	0	2.7	0	0
σ_4	-14.2	3.8	10.1	-21.9	23.8	0	0	2	13.8	-0.9	-6.5	-0.6	-3.9	-31.3	27	-30.9	29.7	2.7
σ_3	-13.9	3.6	9.8	-21.9	23.1	0	0	1.8	13.4	-0.8	-6.3	-0.5	-3.8	-31.3	26.1	-31	28.6	2.6
σ_2	0	0	0	-22.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	-22.1	0.2	-22.1	0.2	0
σ_1	11.6	-12.2	-13.4	-22.7	-31.5	0	0	-15.9	-18.1	7.7	8.9	4.6	5.3	-31.5	-42.6	-34.6	-46.3	3.6
σ_0	12	-12.5	-13.8	-22.8	-32.5	0	0	-16.2	-18.7	7.9	9.2	4.7	5.4	-31.5	-43.9	-34.7	-47.6	3.7
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1
τ_3	12	7.4	6.8	3.4	3.1	0	0	2	1.8	7.2	6.4	-0.3	-0.2	32	32	24.5	24.5	7.5
τ_2	16.8	7.6	7.8	3.5	3.5	0	0	2	2	7.2	7.3	-0.3	-0.3	37.1	37.1	29.6	29.6	7.5
τ_1	13.5	5.3	5.9	2.4	2.7	0	0	1.3	1.5	4.8	5.5	-0.2	-0.2	27.4	27.4	22.4	22.4	5
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.88 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.62 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 3.01 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 2.69 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.35 x 0.928 x 1 x 1 = 2.181 > 2 => 2 (Campata)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.53 x 0.928 x 1 x 1 = 2.348 (Campata)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Campata)
	Luce per il momento (m):	30
	Luce per il taglio (m):	12
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

per i pioli:		
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	34.38	92.593	0.371
Piattabanda inferiore	48.404	92.593	0.523
Anima	13.453	74.074	0.182
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	34.382	77.564	0.443
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.889 \times 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	48.404	73.762	0.656
Attacco anima-piattabanda superiore	33.302	82.963	0.401
Attacco anima-piattabanda inferiore	46.964	82.963	0.566
Attacco irrigidente verticale - anima	46.964	59.259	0.793
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	33.302	59.259	0.562
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	46.964	59.259	0.793
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	5.33	92.593	0.058
Piattabanda inferiore	7.47	92.593	0.081
Anima	17.58	74.074	0.237
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	5.332	77.564	0.069
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.889 \times 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	7.47	73.762	0.101
Attacco anima-piattabanda superiore	5.165	82.963	0.062
Attacco anima-piattabanda inferiore	7.247	82.963	0.087
Attacco irrigidente verticale - anima	7.247	59.259	0.122
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	5.165	59.259	0.087
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	7.247	59.259	0.122
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 25.18 / (90 / 1.15) = 0.322$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 34.38 / (80 / 1.35) = 0.58$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.322 + 0.58 = 0.902$
VERIFICA SODDISFATTA	

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 32.9 / (90 / 1.15) = 0.42$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 5.33 / (80 / 1.35) = 0.09$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.42 + 0.09 = 0.51$
VERIFICA SODDISFATTA	

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

1.3 SEZIONE C3_8

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x60 mm
Piattabanda inferiore	900x60 mm
Anima	20x2180 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5435x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.516E+5	2.778E+5	2.807E+5	2.635E+5	4.097E+5	2.008E+5
z _G (mm)	1150	1750.783	1758.269	1710.961	1985.517	1470.852
J _y (mm ⁴)	1.528E+11	2.738E+11	2.753E+11	2.657E+11	3.22E+11	2.167E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1.328E+8	-1.564E+8	-1.566E+8	-1.553E+8	-1.622E+8	-1.473E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1.402E+8	-1.619E+8	-1.621E+8	-1.609E+8	-1.672E+8	-1.536E+8
W _{y,3} (mm ³)	1.402E+8	5.597E+8	5.716E+8	5.022E+8	1.265E+9	2.818E+8
W _{y,4} (mm ³)	1.328E+8	4.985E+8	5.083E+8	4.51E+8	1.024E+9	2.614E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	4.494E+8	4.576E+8	4.093E+8	8.599E+8	2.437E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	4.27E+8	4.345E+8	3.901E+8	7.922E+8	2.353E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	3.523E+8	3.577E+8	3.252E+8	5.936E+8	2.05E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	3.224E+8	3.271E+8	2.988E+8	5.24E+8	1.919E+8
S _{y,1} (mm ³)	6.048E+7	9.292E+7	9.333E+7	9.077E+7	1.056E+8	7.781E+7
S _{y,2} (mm ³)	7.236E+7	1.215E+8	1.222E+8	1.18E+8	1.427E+8	9.771E+7
S _{y,3} (mm ³)	6.048E+7	1.191E+8	1.198E+8	1.152E+8	1.42E+8	9.18E+7
S _{y,4} (mm ³)	0E+00	9.108E+7	9.221E+7	8.504E+7	1.267E+8	4.864E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	-1.22E+0	1.05E+6	2.39E+6	-2.31E+5
2a	-5.55E-4	4.48E+5	2.51E+6	-1.27E+5
2b	7.96E+3	1.68E+5	4.35E+6	5.71E+5
Rit.Iso	-5.47E+6	0	-3.95E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.07E+4	9.61E+4	2.44E+6	-2.64E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-4.14E+5	4.33E+5	9.06E+6	-9.29E+4
Totale	-5.87E+6	2.19E+6	1.68E+7	9.38E+4

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	<i>c/t</i>	<i>z_{pl}</i> (mm)	<i>α</i>	<i>ψ</i>	Classe
Anima	109	2258.06	1.01	-0.58	4
Piattabanda superiore	7.33				1
Piattabanda inferiore	7.33				1
classe della sezione					4

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-5.87E+6	M _{Ed} (Nm)	1.68E+7	N _{Ed} (N)	-5.87E+6
N _{Rd} (N)	-9.206E+7	M _{Rd} (Nm)	5.888E+7	M _{Ed} (Nm)	1.68E+7
				M _{Rd} (Nm)	5.731E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.064	M _{Ed} /M _{Rd}	0.285	M _{Ed} /M _{Rd}	0.293

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.5	0	3.1	0	0	0	0	0.8	0	2.6	0	0	0
σ ₇	0	7.1	12.2	-18.4	21.2	0	0	33.5	4.1	12	14.3	42.2	87.6	0.224
σ ₆	0	5.9	10.7	-18.6	18.5	0	0	29.2	3.1	10.4	10.4	36.5	76.1	0.194
σ ₅	0	0.3	0	3.1	0	0	0	0	0.5	0	1.5	0	0	0
σ ₄	18	5	9.6	-18.7	16.7	0	0	44.2	2.4	9.4	7.8	32.6	86.2	0.27
σ ₃	17	4.5	8.9	-18.8	15.5	0	0	41.4	2	8.7	6.2	30.1	80.2	0.251
σ ₂	0	0	0	-19.5	0	0	0	0	0	0.1	-1	-2.1	-2	0.006
σ ₁	-17	-15.5	-16.3	-21.9	-28.3	0	0	-61.6	-14.6	-15.9	-55.2	-61.1	-138.5	0.434
σ ₀	-18	-16	-17	-22	-29.5	0	0	-64.4	-15	-16.5	-56.9	-63.6	-144.5	0.453

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.453 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.54 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.39 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.9 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.37 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)

Componente	<i>b</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>λ_p</i>	<i>ρ</i>	<i>A_{c,eff}</i> (mm ²)	<i>β^k</i>	<i>A_{c,eff}*β^k</i> (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda superiore DX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore DX	450	60	---	---	---	1	27000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)

	Anima
<i>b</i> (mm)	2180
σ _{cr0E} (N/mm ²)	15.99
σ _{sup} (N/mm ²)	78.88
σ _{inf} (N/mm ²)	-145.17
ψ	-0.54
K _σ	14.11

λ_p	1.25
b_c (mm)	1412.54
$b_{c\ sup}$ (mm)	847.53
$b_{c\ sup}$ (mm)	565.02
ρ_{loc}	0.71
b_{ceff} (mm)	1004.99
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	602.99
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	401.99
ϕ_{Foro} (mm)	407.56

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c\ Edge\ sup}$	1.695E+4	1048.8	1.015E+9
$A_{c\ 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c\ 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c\ Edge\ inf}$	1.13E+4	342.5	3.006E+8
$A_{c\ tot}$	2.825E+4	766.3	4.697E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c,eff\ Edge\ sup}$	1.206E+4	1171	3.654E+8
$A_{c,eff\ 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff\ 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff\ Edge\ inf}$	8.04E+3	261	1.083E+8
$A_{c,eff\ tot}$	2.01E+4	807	4.469E+9
$A_{c,eff,loc}$	0E+00		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	<i>Piastra</i>		<i>Colonna</i>
$\sigma_{cr,p}$ (p)	225.72	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	8.65
λ_p	1.254	λ_c	0.711
ρ_p	0.711	χ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
Edge sup	1.206E+4	1171	3.654E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	8.04E+3	261	1.083E+8
Totale	2.01E+4	807	4.469E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	$\Delta A(mm^2)$	z_G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-8.151E+3	665.8	-1.128E+8
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2a</i>	<i>Fase 2b</i>	<i>Fase 2c</i>	<i>Fase 3</i>	<i>Fessurata</i>
A (mm ²)	1.434E+5	2.697E+5	4.016E+5	2.553E+5	4.016E+5	1.926E+5
z_G (mm)	1177.515	1783.575	2012.304	1744.33	2012.304	1504.92
Δz_{Geff} (mm)	-27.51	-32.79	-26.79	-33.37	-26.79	-34.07
$J_{y,eff}$ (mm ⁴)	1.506E+11	2.638E+11	3.074E+11	2.564E+11	3.074E+11	2.111E+11
$W_{y,0eff}$ (mm ³)	-1.279E+8	-1.479E+8	-1.528E+8	-1.47E+8	-1.528E+8	-1.403E+8
$W_{y,1eff}$ (mm ³)	-1.348E+8	-1.531E+8	-1.575E+8	-1.522E+8	-1.575E+8	-1.461E+8
$W_{y,3eff}$ (mm ³)	1.418E+8	5.78E+8	1.35E+9	5.172E+8	1.35E+9	2.872E+8

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$W_{y,4eff}$ (mm ³)	1.342E+8	5.108E+8	1.069E+9	4.614E+8	1.069E+9	2.655E+8
$W_{y,5eff}$ (mm ³)	1E+300	4.577E+8	8.841E+8	4.164E+8	8.841E+8	2.469E+8
$W_{y,6eff}$ (mm ³)	1E+300	4.336E+8	8.096E+8	3.958E+8	8.096E+8	2.38E+8
$W_{y,7eff}$ (mm ³)	1E+300	3.544E+8	5.961E+8	3.271E+8	5.961E+8	2.063E+8
$W_{y,8eff}$ (mm ³)	1E+300	3.231E+8	5.231E+8	2.996E+8	5.231E+8	1.928E+8
$S_{y,1eff}$ (mm ³)	6.197E+7	9.469E+7	1.07E+8	9.257E+7	1.07E+8	7.965E+7
$S_{y,2eff}$ (mm ³)	7.028E+7	1.153E+8	1.342E+8	1.122E+8	1.342E+8	9.368E+7
$S_{y,3eff}$ (mm ³)	5.899E+7	1.132E+8	1.337E+8	1.097E+8	1.337E+8	8.828E+7
$S_{y,4eff}$ (mm ³)	1.699E-291	8.694E+7	1.197E+8	8.131E+7	1.197E+8	4.697E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	6.18
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)

	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2a</i>	<i>Fase 2b</i>	<i>Fase 2c</i>	<i>Fase 3a</i>	<i>Fase 3b</i>
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	3.353E-2	1.892E-5	-2.711E+2	0E+00	-3.651E+2	1.41E+4
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	3.353E-2	1.821E-5	1.786E+5	0E+00	-2.871E+2	1.109E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	<i>F. 1</i>	<i>F. 2a Non Fess.</i>	<i>F. 2a Fess.</i>	<i>F. 2b Non Fess.</i>	<i>F. 2b Fess.</i>	<i>F. 2c Non Fess.</i>	<i>F. 2c Fess.</i>	<i>F. 2 tot</i>	<i>F. 3a Non Fess.</i>	<i>F. 3a Fess.</i>	<i>F. 3b Non Fess.</i>	<i>F. 3b Fess.</i>	<i>F. 3 tot</i>	η_1
σ_8	0	0.5	0	3.1	0	0	0	0	0.8	0	2.6	0	0	0
σ_7	0	7.1	12.2	-18.5	21.1	0	0	33.3	4.1	11.9	14.2	41.9	87	0.222
σ_6	0	5.8	10.5	-18.8	18.3	0	0	28.8	3	10.3	10.2	36	75.2	0.192
σ_5	0	0.3	0	3	0	0	0	0	0.4	0	1.5	0	0	0
σ_4	17.8	4.9	9.4	-19	16.4	0	0	43.6	2.3	9.3	7.5	32	84.9	0.266
σ_3	16.8	4.3	8.7	-19.1	15.2	0	0	40.7	1.8	8.6	5.7	29.5	78.8	0.247
σ_2	0	0	0	-20.1	0	0	0	0	0	0.1	-1	-2.1	-2.1	0.006
σ_1	-17.7	-16.4	-17.2	-23.8	-29.7	0	0	-64.6	-15.5	-16.7	-58.7	-64.3	-145.5	0.456
σ_0	-18.6	-17	-17.9	-23.9	-30.9	0	0	-67.5	-16	-17.4	-60.4	-66.9	-151.7	0.475

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.475 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.53 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.37 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.9 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.29 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 109 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.702 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **$V_{b,Rd} = 5.407E+6$ N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.835, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 6.528$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 4.811E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 5.955E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.592, \quad \lambda_w = 1.401, \quad \tau_{cr} = 104.4, \quad C = 1205.9$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 2.128E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 4.078E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.522$$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 1.021E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.407E+6$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.405, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.455, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.475$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	-1.22E+0	1.05E+6	2.39E+6	-2.31E+5
2a	-5.55E-4	4.48E+5	2.51E+6	-1.27E+5
2b	7.96E+3	1.68E+5	4.35E+6	5.71E+5
Rit.Iso	-5.47E+6	0	-3.95E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.07E+4	9.61E+4	2.44E+6	-2.64E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-3.34E+5	1.7E+6	1.6E+6	-4.32E+5
Totale	-5.79E+6	3.46E+6	9.34E+6	-2.45E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	109	2257.92	1.01	-0.6	4
Piattabanda superiore	7.33				1
Piattabanda inferiore	7.33				1
classe della sezione					4

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-5.789E+6	M _{Ed} (Nm)	9.336E+6	N _{Ed} (N)	-5.789E+6
N _{Rd} (N)	-9.206E+7	M _{Rd} (Nm)	5.888E+7	M _{Ed} (Nm)	9.336E+6
				M _{Rd} (Nm)	5.733E+7
N _{Ed} / N _{Rd}	0.063	M _{Ed} / M _{Rd}	0.159	M _{Ed} / M _{Rd}	0.163

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.5	0	3.1	0	0	0	0	0.8	0	0.4	0	0	0
σ ₇	0	7.1	12.2	-18.4	21.2	0	0	33.5	4.1	12	1.9	6.2	51.6	0.132
σ ₆	0	5.9	10.7	-18.6	18.5	0	0	29.2	3.1	10.4	1.2	5.2	44.8	0.114
σ ₅	0	0.3	0	3.1	0	0	0	0	0.5	0	0.2	0	0	0
σ ₄	18	5	9.6	-18.7	16.7	0	0	44.2	2.4	9.4	0.8	4.5	58.1	0.182
σ ₃	17	4.5	8.9	-18.8	15.5	0	0	41.4	2	8.7	0.5	4	54.1	0.17

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_2	0	0	0	-19.5	0	0	0	0	0.1	-0.8	-1.7	-1.6	0.005	
σ_1	-17	-15.5	-16.3	-21.9	-28.3	0	0	-61.6	-14.6	-15.9	-10.4	-12.1	-89.6	0.281
σ_0	-18	-16	-17	-22	-29.5	0	0	-64.4	-15	-16.5	-10.7	-12.6	-93.5	0.293

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.293 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.54 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.39 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.65 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.01 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β^k	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda superiore DX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore DX	450	60	---	---	---	1	27000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmax)

	Anima
b (mm)	2180
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.99
σ_{sup} (N/mm ²)	53.32
σ_{inf} (N/mm ²)	-93.64
ψ	-0.57
K_σ	14.56
λ_p	1.23
b_c (mm)	1389.09
$b_{c, sup}$ (mm)	833.45
$b_{c, inf}$ (mm)	555.64
ρ_{loc}	0.72
b_{ceff} (mm)	1003.24
$b_{ceff, sup}$ (mm)	601.95
$b_{ceff, inf}$ (mm)	401.3
ϕ_{Foro} (mm)	385.85

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmax)

	A(mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, Edge sup}$	1.667E+4	1032.4	9.649E+8
$A_{c, 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, Edge inf}$	1.111E+4	337.8	2.859E+8
$A_{c, tot}$	2.778E+4	754.5	4.467E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmax)

	A(mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, eff, Edge sup}$	1.204E+4	1148.1	3.635E+8
$A_{c, eff, 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, eff, 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, eff, Edge inf}$	8.026E+3	260.6	1.077E+8
$A_{c, eff, tot}$	2.006E+4	793.1	4.264E+9
$A_{c, eff, loc}$	0E+00		

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Coefficienti di riduzione per instabilità globale dell'anima (Comb. Vmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	232.87	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	8.65
λ_p	1.235	λ_c	0.722
ρ_p	0.722	ρ_c	

Anima depurata per instabilità locale e globale dell'anima (Comb. Vmax)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
Edge sup	1.204E+4	1148.1	3.635E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	8.026E+3	260.6	1.077E+8
Totale	2.006E+4	793.1	4.264E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmax)

	ΔA (mm ²)	z _G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-7.717E+3	654.2	-9.574E+7
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.439E+5	2.701E+5	4.02E+5	2.557E+5	4.02E+5	1.931E+5
z _G (mm)	1176.59	1782.109	2011.072	1742.847	2011.072	1503.494
Δz_{Geff} (mm)	-26.59	-31.33	-25.55	-31.89	-25.55	-32.64
J _{y,eff} (mm ⁴)	1.507E+11	2.642E+11	3.08E+11	2.567E+11	3.08E+11	2.113E+11
W _{y,0eff} (mm ³)	-1.281E+8	-1.482E+8	-1.531E+8	-1.473E+8	-1.531E+8	-1.405E+8
W _{y,1eff} (mm ³)	-1.349E+8	-1.534E+8	-1.578E+8	-1.525E+8	-1.578E+8	-1.464E+8
W _{y,3eff} (mm ³)	1.417E+8	5.769E+8	1.345E+9	5.163E+8	1.345E+9	2.869E+8
W _{y,4eff} (mm ³)	1.341E+8	5.101E+8	1.066E+9	4.607E+8	1.066E+9	2.653E+8
W _{y,5eff} (mm ³)	1E+300	4.571E+8	8.826E+8	4.159E+8	8.826E+8	2.467E+8
W _{y,6eff} (mm ³)	1E+300	4.331E+8	8.085E+8	3.954E+8	8.085E+8	2.378E+8
W _{y,7eff} (mm ³)	1E+300	3.542E+8	5.958E+8	3.269E+8	5.958E+8	2.062E+8
W _{y,8eff} (mm ³)	1E+300	3.23E+8	5.229E+8	2.995E+8	5.229E+8	1.927E+8
S _{y,1eff} (mm ³)	6.192E+7	9.461E+7	1.07E+8	9.249E+7	1.07E+8	7.957E+7
S _{y,2eff} (mm ³)	7.035E+7	1.156E+8	1.346E+8	1.124E+8	1.346E+8	9.385E+7
S _{y,3eff} (mm ³)	5.904E+7	1.135E+8	1.34E+8	1.099E+8	1.34E+8	8.843E+7
S _{y,4eff} (mm ³)	1.7E-291	8.712E+7	1.201E+8	8.147E+7	1.201E+8	4.704E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	5.82
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	3.241E-2	1.812E-5	-2.598E+2	0E+00	-3.498E+2	1.089E+4
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	3.241E-2	1.739E-5	1.706E+5	0E+00	-2.738E+2	8.527E+3

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_8	0	0.5	0	3.1	0	0	0	0	0.8	0	0.4	0	0	0
σ_7	0	7.1	12.2	-18.5	21.1	0	0	33.3	4.1	11.9	1.9	6.1	51.3	0.131
σ_6	0	5.8	10.6	-18.7	18.3	0	0	28.9	3	10.3	1.2	5.1	44.3	0.113
σ_5	0	0.3	0	3	0	0	0	0	0.4	0	0.2	0	0	0
σ_4	17.8	4.9	9.5	-18.9	16.4	0	0	43.7	2.3	9.3	0.7	4.4	57.3	0.18
σ_3	16.8	4.3	8.7	-19.1	15.2	0	0	40.8	1.8	8.6	0.4	3.9	53.2	0.167
σ_2	0	0	0	-20	0	0	0	0	0	0.1	-0.8	-1.7	-1.6	0.005
σ_1	-17.7	-16.4	-17.1	-23.7	-29.6	0	0	-64.5	-15.5	-16.6	-11	-12.8	-93.9	0.294
σ_0	-18.6	-16.9	-17.9	-23.8	-30.9	0	0	-67.4	-15.9	-17.3	-11.4	-13.2	-97.9	0.307

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.307 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.53 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 3.37 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.65 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.98 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 109 > 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5} = 53.702 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **$V_{b,Rd} = 5.536E+6$ N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.835, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 6.528$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 4.811E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 7.252E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.592, \quad \lambda_w = 1.401, \quad \tau_{cr} = 104.4, \quad C = 1205.9$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.376E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 4.081E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.337$$

Resistenza plastica: **$V_{pl,Rd} = 1.021E+7$ N**

Resistenza a taglio: **$V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.536E+6$ N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.624, \quad (\Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.719, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.307$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.73E+0	7E+5	-1.46E+5	-1.53E+5
2a	-4.11E-4	3.32E+5	1.86E+6	-9.4E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.62E+6	4.75E+5
Rit.Iso	-4.56E+6	0	-3.29E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.04E+6	-2.2E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-2.85E+5	3.21E+5	6.71E+6	-6.94E+4
Totale	-4.83E+6	1.57E+6	1.08E+7	1.37E+5

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.6	0	1.9	0	0	0	0
σ_7	0	5.3	9.1	-15.3	17.7	0	0	26.8	3.5	10	10.6	31.3	68.1	68.1	0.189
σ_6	0	4.4	7.9	-15.5	15.4	0	0	23.3	2.6	8.7	7.8	27.1	59.1	59.1	0.164
σ_5	0	0.2	0	2.5	0	0	0	0	0.4	0	1.1	0	0	0	0
σ_4	-1.1	3.7	7.1	-15.6	13.9	0	0	19.9	2	7.8	5.9	24.3	52	52	0.155
σ_3	-1	3.3	6.6	-15.7	12.9	0	0	18.4	1.6	7.3	4.6	22.4	48.1	73.8	0.22
σ_2	0	0	0	-16.2	0	0	0	0	0	0	-0.7	-1.4	-1.3	62.8	0.177
σ_1	1	-11.5	-12.1	-18.3	-23.5	0	0	-34.6	-12.2	-13.2	-40.8	-45.1	-92.9	106.1	0.317
σ_0	1.1	-11.9	-12.6	-18.3	-24.5	0	0	-36.1	-12.5	-13.8	-42.1	-47	-96.8	96.8	0.289
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2		
τ_3	13.8	7.2	7	3	3	0	0	23.8	1.8	1.7	7.1	6.8	32.3		
τ_2	16.6	7.4	7.5	3.1	3.2	0	0	27.2	1.8	1.8	7.1	7.2	36.2		
τ_1	13.8	5.6	6	2.4	2.5	0	0	22.3	1.3	1.4	5.3	5.8	29.5		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.317 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.9 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.79 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.47 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.31 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.73E+0	7E+5	-1.46E+5	-1.53E+5
2a	-4.11E-4	3.32E+5	1.86E+6	-9.4E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.62E+6	4.75E+5
Rit.Iso	-4.56E+6	0	-3.29E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.04E+6	-2.2E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-2.26E+5	1.26E+6	1.19E+6	-3.2E+5
Totale	-4.77E+6	2.51E+6	5.27E+6	-1.14E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.6	0	0.3	0	0	0	0
σ_7	0	5.3	9.1	-15.3	17.7	0	0	26.8	3.5	10	1.5	4.7	41.4	41.4	0.115
σ_6	0	4.4	7.9	-15.5	15.4	0	0	23.3	2.6	8.7	1	3.9	36	36	0.1
σ_5	0	0.2	0	2.5	0	0	0	0	0.4	0	0.1	0	0	0	0
σ_4	-1.1	3.7	7.1	-15.6	13.9	0	0	19.9	2	7.8	0.6	3.4	31.2	31.2	0.093
σ_3	-1	3.3	6.6	-15.7	12.9	0	0	18.4	1.6	7.3	0.4	3.1	28.8	94.9	0.283
σ_2	0	0	0	-16.2	0	0	0	0	0	0	-0.6	-1.1	-1	99.4	0.28
σ_1	1	-11.5	-12.1	-18.3	-23.5	0	0	-34.6	-12.2	-13.2	-7.7	-8.9	-56.7	98.3	0.293
σ_0	1.1	-11.9	-12.6	-18.3	-24.5	0	0	-36.1	-12.5	-13.8	-7.9	-9.2	-59	59	0.176
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.6	0.3	0.5		
τ_3	13.8	7.2	7	3	3	0	0	23.8	1.8	1.7	27.8	26.7	52.2		

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

τ_2	16.6	7.4	7.5	3.1	3.2	0	0	27.2	1.8	1.8	27.9	28.4	57.4		
τ_1	13.8	5.6	6	2.4	2.5	0	0	22.3	1.3	1.4	20.6	22.6	46.3		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.293 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.9 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.79 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.81 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.31 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.73E+0	7E+5	-1.46E+5	-1.53E+5
2a	-4.11E-4	3.32E+5	1.86E+6	-9.4E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.62E+6	4.75E+5
Rit.Iso	-4.56E+6	0	-3.29E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.04E+6	-2.2E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-4.66E+4	1.72E+5	3.75E+6	-4.06E+4
Totale	-4.59E+6	1.42E+6	7.83E+6	1.66E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.6	0	1.1	0	0
σ_7	0	5.2	9	-15.4	17.6	0	0	26.6	3.4	9.9	6.2	17.9	54.4
σ_6	0	4.3	7.8	-15.7	15.2	0	0	23	2.5	8.6	4.5	15.5	47.1
σ_5	0	0.2	0	2.5	0	0	0	0	0.4	0	0.7	0	0
σ_4	-1.1	3.6	7	-15.8	13.6	0	0	19.5	1.9	7.7	3.4	13.9	41.1
σ_3	-1	3.2	6.5	-15.9	12.6	0	0	18	1.5	7.1	2.6	12.8	38
σ_2	0	0	0	-16.8	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.2	-0.2
σ_1	1.1	-12.2	-12.8	-20	-24.8	0	0	-36.5	-13	-13.9	-24	-26	-76.4
σ_0	1.1	-12.6	-13.3	-20.1	-25.9	0	0	-38	-13.4	-14.5	-24.8	-27.1	-79.6

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.9 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.77 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.66 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.8 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmax)

	Anima
b (mm)	2180
σ_{sup} (N/mm ²)	38.03
σ_{inf} (N/mm ²)	-76.24
σ_{Ed} (N/mm ²)	76.24
K_{σ}	13.38
σ_{crOE} (N/mm ²)	15.99

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

τ_{Ed} (N/mm ²)	29.64
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	213.99
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	4.75
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	213.99
K_{τ}	6.53
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.474
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.73E+0	7E+5	-1.46E+5	-1.53E+5
2a	-4.11E-4	3.32E+5	1.86E+6	-9.4E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.62E+6	4.75E+5
Rit.Iso	-4.56E+6	0	-3.29E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.04E+6	-2.2E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-7.15E+3	7.53E+5	-2.45E+5	-1.84E+5
Totale	-4.55E+6	2E+6	3.83E+6	2.27E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0	0.6	0	-0.1	0	0
σ_7	0	5.2	9	-15.4	17.6	0	0	26.6	3.4	9.9	-0.4	-1.2	35.2
σ_6	0	4.3	7.8	-15.7	15.2	0	0	23	2.5	8.6	-0.3	-1.1	30.6
σ_5	0	0.2	0	2.5	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
σ_4	-1.1	3.6	7	-15.8	13.6	0	0	19.6	1.9	7.7	-0.2	-1	26.3
σ_3	-1	3.2	6.5	-15.9	12.6	0	0	18	1.5	7.1	-0.2	-0.9	24.3
σ_2	0	0	0	-16.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ_1	1.1	-12.2	-12.8	-20	-24.8	0	0	-36.5	-13	-13.9	1.5	1.6	-48.8
σ_0	1.1	-12.6	-13.3	-20.1	-25.9	0	0	-38	-13.4	-14.5	1.6	1.7	-50.8

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.9 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.77 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.45 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.1 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmax)

	Anima
b (mm)	2180
σ_{sup} (N/mm ²)	24.32
σ_{inf} (N/mm ²)	-48.66
σ_{Ed} (N/mm ²)	48.66
K_{σ}	13.4
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.99
τ_{Ed} (N/mm ²)	41.57
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	214.25

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$\sigma_{cr} (C) (N/mm^2)$	4.75
$\sigma_{cr} (N/mm^2)$	214.25
K_{τ}	6.53
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.493
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, $n (m^{-1})$	20
Diametro dei pioli, $d (mm)$	19
Altezza dei pioli, $h (mm)$	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, $f_u (N/mm^2)$	450
Coefficiente $E_{cm} (N/mm^2)$	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, $f_{ck} (N/mm^2)$	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v, (N)$	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v, (N)$	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2}), (N)$	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmax)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $V_{Rd} = n P_{Rd} K_s (N/mm)$	1633.1
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo $V_{Ed} (N/mm)$	903.5
Coefficiente di utilizzo V_{Ed} / V_{Rd}	0.553
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmax)

Fase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_{y,eff} (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Fase 2a	4.48E+5	8.712E+7	2.642E+11	147.7
Fase 2b	1.68E+5	8.818E+7	2.656E+11	55.8
Fase 2c	0E+00	8.147E+7	2.567E+11	0
Fase 3a	9.614E+4	1.201E+8	3.08E+11	37.5
Fase 3b	1.699E+6	1.201E+8	3.08E+11	662.5
Totale				903.5

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmax)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $V_{Rd} = n P_{Rd} K_s (N/mm)$	979.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo $V_{Ed} (N/mm)$	683.8
Coefficiente di utilizzo V_{Ed} / V_{Rd}	0.698
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmax)

Fase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Fase 2a	3.318E+5	9.108E+7	2.738E+11	110.4
Fase 2b	1.4E+5	9.221E+7	2.753E+11	46.9
Fase 2c	0E+00	8.504E+7	2.657E+11	0
Fase 3a	8.012E+4	1.267E+8	3.22E+11	31.5

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Fase 3b	1.258E+6	1.267E+8	3.22E+11	495
Totale				683.8

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.73E+0	7E+5	-1.46E+5	-1.53E+5
2a	-4.11E-4	3.32E+5	1.86E+6	-9.4E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.62E+6	4.75E+5
Rit.Iso	-4.56E+6	0	-3.29E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.04E+6	-2.2E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-2.47E+4	5.91E+4	1.46E+6	-1.41E+4
3b max	8.24E+3	2.54E+5	-7.51E+5	-1.05E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0.6	0	0.4	0	-0.2	0	4	0	3.3	0	0
σ_7	0	5.3	9.1	-15.3	17.7	0	0	3.5	10	2.4	7	-1.2	-3.6	-4.2	43.7	-7.8	33.1	12.8
σ_6	0	4.4	7.9	-15.5	15.4	0	0	2.6	8.7	1.8	6.1	-0.9	-3.2	-6.7	38.1	-9.5	28.9	9.2
σ_5	0	0.2	0	2.5	0	0	0	0.4	0	0.3	0	-0.1	0	3.4	0	3	0	0
σ_4	-1.1	3.7	7.1	-15.6	13.9	0	0	2	7.8	1.4	5.4	-0.7	-2.8	-9.6	33.2	-11.7	24.9	8.3
σ_3	-1	3.3	6.6	-15.7	12.9	0	0	1.6	7.3	1.1	5	-0.6	-2.6	-10.7	30.8	-12.3	23.1	7.7
σ_2	0	0	0	-16.2	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0	0	-16.3	0	-16.2	0.1	0.2
σ_1	1	-11.5	-12.1	-18.3	-23.5	0	0	-12.2	-13.2	-8.8	-9.6	4.5	4.9	-49.6	-57.4	-36.3	-42.9	14.5
σ_0	1.1	-11.9	-12.6	-18.3	-24.5	0	0	-12.5	-13.8	-9	-10	4.7	5.1	-50.7	-59.8	-37	-44.7	15.1
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1
τ_3	13.8	7.2	7	3	3	0	0	1.8	1.7	1.3	1.3	5.6	5.4	27.2	27.2	31.5	31.5	4.3
τ_2	16.6	7.4	7.5	3.1	3.2	0	0	1.8	1.8	1.3	1.3	5.6	5.7	30.1	30.1	34.4	34.4	4.3
τ_1	13.8	5.6	6	2.4	2.5	0	0	1.3	1.4	1	1.1	4.2	4.6	24.1	24.1	27.3	27.3	3.2
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 3.97 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 3.44 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 3.3 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 3.04 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	1.73E+0	7E+5	-1.46E+5	-1.53E+5
2a	-4.11E-4	3.32E+5	1.86E+6	-9.4E+4
2b	6.63E+3	1.4E+5	3.62E+6	4.75E+5
Rit.Iso	-4.56E+6	0	-3.29E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	8.93E+3	8.01E+4	2.04E+6	-2.2E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	7.68E+3	3.04E+5	-6.71E+5	-7.88E+4
3b max	2.13E+3	-1.13E+4	-1.74E+5	-4.52E+4

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.3	0	2.6	0	0	0	0.6	0	-0.2	0	-0.1	0	3.3	0	3.5	0	0
σ_7	0	5.3	9.1	-15.3	17.7	0	0	3.5	10	-1.1	-3.2	-0.3	-0.8	-7.7	33.5	-6.9	35.9	3
σ_6	0	4.4	7.9	-15.5	15.4	0	0	2.6	8.7	-0.8	-2.8	-0.2	-0.7	-9.4	29.2	-8.7	31.3	2.1
σ_5	0	0.2	0	2.5	0	0	0	0.4	0	-0.1	0	0	0	3.1	0	3.1	0	0
σ_4	-1.1	3.7	7.1	-15.6	13.9	0	0	2	7.8	-0.6	-2.5	-0.2	-0.7	-11.6	25.2	-11.1	27.1	1.9
σ_3	-1	3.3	6.6	-15.7	12.9	0	0	1.6	7.3	-0.5	-2.3	-0.1	-0.6	-12.3	23.4	-11.9	25.1	1.7
σ_2	0	0	0	-16.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-16.2	0.1	-16.2	0.1	0
σ_1	1	-11.5	-12.1	-18.3	-23.5	0	0	-12.2	-13.2	4	4.4	1	1.1	-36.8	-43.4	-39.8	-46.7	3.3
σ_0	1.1	-11.9	-12.6	-18.3	-24.5	0	0	-12.5	-13.8	4.2	4.6	1.1	1.2	-37.5	-45.2	-40.6	-48.6	3.4
τ_4	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
τ_3	13.8	7.2	7	3	3	0	0	1.8	1.7	6.7	6.4	-0.2	-0.2	32.6	32.6	25.6	25.6	7
τ_2	16.6	7.4	7.5	3.1	3.2	0	0	1.8	1.8	6.7	6.9	-0.2	-0.3	35.5	35.5	28.6	28.6	7
τ_1	13.8	5.6	6	2.4	2.5	0	0	1.3	1.4	5	5.5	-0.2	-0.2	28.1	28.1	23	23	5.2
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 3.33 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 3.05 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 3.48 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 3.14 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.8 x 0.928 x 1 x 1 = 1.67 < 1.98 (Appoggio)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.9 x 0.928 x 1 x 1 = 1.763 (Appoggio)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Appoggio)
	Luce per il momento (m):	40
	Luce per il taglio (m):	50
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno per i pioli:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	13.83	92.593	0.149
Piattabanda inferiore	25.288	92.593	0.273
Anima	7.627	74.074	0.103
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	13.826	67.523	0.205
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	25.288	67.523	0.375
Attacco anima-piattabanda superiore	12.806	82.963	0.154
Attacco anima-piattabanda inferiore	24.267	82.963	0.293
Attacco irrigidente verticale - anima	24.267	59.259	0.41
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	12.806	59.259	0.216
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	24.267	59.259	0.41
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	3.13	92.593	0.034
Piattabanda inferiore	5.685	92.593	0.061
Anima	12.313	74.074	0.166
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	3.133	67.523	0.046
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	5.685	67.523	0.084
Attacco anima-piattabanda superiore	2.903	82.963	0.035
Attacco anima-piattabanda inferiore	5.455	82.963	0.066
Attacco irrigidente verticale - anima	5.455	59.259	0.092
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	2.903	59.259	0.049
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	5.455	59.259	0.092
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 20.01 / (90 / 1.15) = 0.256$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 13.83 / (80 / 1.35) = 0.233$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.256 + 0.233 = 0.489$
VERIFICA SODDISFATTA	

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 32.3 / (90 / 1.15) = 0.413$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 3.13 / (80 / 1.35) = 0.053$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.413 + 0.053 = 0.466$
VERIFICA SODDISFATTA	

1.4 SEZIONE C3_CRACKED_13

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x60 mm
Piattabanda inferiore	900x60 mm
Anima	20x2180 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5152x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.516E+5	2.713E+5	2.74E+5	2.576E+5	3.963E+5	1.982E+5
z _G (mm)	1150	1733.294	1740.739	1693.767	1968.869	1458.069
J _y (mm ⁴)	1.528E+11	2.703E+11	2.718E+11	2.622E+11	3.186E+11	2.142E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1.328E+8	-1.559E+8	-1.561E+8	-1.548E+8	-1.618E+8	-1.469E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1.402E+8	-1.615E+8	-1.617E+8	-1.605E+8	-1.669E+8	-1.532E+8
W _{y,3} (mm ³)	1.402E+8	5.334E+8	5.444E+8	4.8E+8	1.175E+9	2.739E+8
W _{y,4} (mm ³)	1.328E+8	4.769E+8	4.86E+8	4.325E+8	9.621E+8	2.544E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	4.313E+8	4.389E+8	3.936E+8	8.145E+8	2.375E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	4.103E+8	4.173E+8	3.755E+8	7.529E+8	2.293E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	3.401E+8	3.452E+8	3.143E+8	5.698E+8	2.002E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	3.118E+8	3.163E+8	2.893E+8	5.048E+8	1.876E+8
S _{y,1} (mm ³)	6.048E+7	9.198E+7	9.238E+7	8.984E+7	1.047E+8	7.712E+7
S _{y,2} (mm ³)	7.236E+7	1.2E+8	1.206E+8	1.165E+8	1.411E+8	9.666E+7
S _{y,3} (mm ³)	6.048E+7	1.174E+8	1.181E+8	1.136E+8	1.404E+8	9.055E+7
S _{y,4} (mm ³)	0E+00	8.843E+7	8.956E+7	8.244E+7	1.241E+8	4.67E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	-1.4E+0	-1.85E+6	7.66E+6	2.13E+5
2a	-1.34E-3	-6.39E+5	4.58E+6	1.04E+5
2b	1.56E+4	-4.23E+4	5E+6	-1.37E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.05E+4	2.32E+0	2.86E+6	-7.7E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.01E+5	-1.84E+6	1.21E+7	4.34E+5
Totale	2.37E+5	-4.37E+6	3.22E+7	6.6E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	<i>c/t</i>	<i>z_{pl}</i> (mm)	<i>α</i>	<i>ψ</i>	Classe
Anima	109	2245.68	1	-0.68	4
Piattabanda superiore	7.33				1
Piattabanda inferiore	7.33				1
classe della sezione					4
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	2.37E+5	M _{Ed} (Nm)	3.224E+7	N _{Ed} (N)	2.37E+5
N _{Rd} (N)	6.744E+7	M _{Rd} (Nm)	5.866E+7	M _{Ed} (Nm)	3.224E+7
				M _{Rd} (Nm)	5.873E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.004	M _{Ed} /M _{Rd}	0.55	M _{Ed} /M _{Rd}	0.549
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.9	0	1	0	0	0	0	0.9	0	3.9	0	0	0
σ ₇	0	13.5	22.9	14.5	25.1	0	0	48	5.1	14.4	21.8	61.7	124	0.317
σ ₆	0	11.2	20	12	21.9	0	0	41.9	3.8	12.6	16.6	53.9	108.4	0.277
σ ₅	0	0.6	0	0.7	0	0	0	0	0.6	0	2.5	0	0	0
σ ₄	57.6	9.6	18	10.4	19.7	0	0	95.4	3	11.3	13.1	48.7	155.4	0.487
σ ₃	54.6	8.6	16.7	9.2	18.3	0	0	89.7	2.5	10.5	10.8	45.3	145.6	0.456
σ ₂	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.5	1	1.2	0.004
σ ₁	-54.6	-28.4	-29.9	-30.9	-32.6	0	0	-117.1	-17.1	-18.5	-72.2	-78.2	-213.9	0.67
σ ₀	-57.6	-29.4	-31.2	-32	-34	0	0	-122.8	-17.6	-19.3	-74.5	-81.6	-223.8	0.701

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.701 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.84 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.33 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.69 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.37 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)

Componente	<i>b</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>λ_p</i>	<i>ρ</i>	<i>A_{c,eff}</i> (mm ²)	<i>β^k</i>	<i>A_{c,eff}*β^k</i> (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda superiore DX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore DX	450	60	---	---	---	1	27000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)

	Anima
<i>b</i> (mm)	2180
σ _{cr0E} (N/mm ²)	15.99
σ _{sup} (N/mm ²)	143.94
σ _{inf} (N/mm ²)	-222.12
ψ	-0.65
K _σ	15.99

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

λ_p	1.18
b_c (mm)	1322.79
$b_{c\ sup}$ (mm)	793.67
$b_{c\ sup}$ (mm)	529.11
ρ_{loc}	0.76
b_{ceff} (mm)	999.5
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	599.7
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	399.8
ϕ_{Foro} (mm)	323.29

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
A_c Edge sup	1.587E+4	985.9	8.332E+8
A_c 1	0E+00	0	0E+00
A_c 2	0E+00	0	0E+00
A_c Edge inf	1.058E+4	324.6	2.469E+8
A_c tot	2.646E+4	721.4	3.858E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c,eff}$ Edge sup	1.199E+4	1082.9	3.595E+8
$A_{c,eff}$ 1	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ 2	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ Edge inf	7.996E+3	259.9	1.065E+8
$A_{c,eff}$ tot	1.999E+4	753.7	3.716E+9
$A_{c,eff,loc}$	0E+00		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	Piastra	Colonna	
$\sigma_{cr,p}$ (p)	255.76	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	8.65
λ_p	1.178	λ_c	0.756
ρ_p	0.756	ρ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
Edge sup	1.199E+4	1082.9	3.595E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	7.996E+3	259.9	1.065E+8
Totale	1.999E+4	753.7	3.716E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	$\Delta A(mm^2)$	z_G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-6.466E+3	621.4	-5.631E+7
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.451E+5	2.648E+5	3.898E+5	2.512E+5	3.898E+5	1.917E+5
z_G (mm)	1173.547	1760.442	1991.217	1721.371	1991.217	1486.28
Δz_{Geff} (mm)	-23.55	-27.15	-22.35	-27.6	-22.35	-28.21
$J_{y,eff}$ (mm ⁴)	1.508E+11	2.62E+11	3.066E+11	2.545E+11	3.066E+11	2.094E+11
$W_{y,0eff}$ (mm ³)	-1.285E+8	-1.488E+8	-1.54E+8	-1.479E+8	-1.54E+8	-1.409E+8
$W_{y,1eff}$ (mm ³)	-1.355E+8	-1.541E+8	-1.588E+8	-1.532E+8	-1.588E+8	-1.468E+8
$W_{y,3eff}$ (mm ³)	1.414E+8	5.464E+8	1.232E+9	4.908E+8	1.232E+9	2.779E+8

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$W_{y,4eff}$ (mm ³)	1.339E+8	4.856E+8	9.929E+8	4.399E+8	9.929E+8	2.574E+8
$W_{y,5eff}$ (mm ³)	1E+300	4.37E+8	8.314E+8	3.985E+8	8.314E+8	2.397E+8
$W_{y,6eff}$ (mm ³)	1E+300	4.149E+8	7.65E+8	3.795E+8	7.65E+8	2.312E+8
$W_{y,7eff}$ (mm ³)	1E+300	3.414E+8	5.712E+8	3.155E+8	5.712E+8	2.01E+8
$W_{y,8eff}$ (mm ³)	1E+300	3.121E+8	5.036E+8	2.897E+8	5.036E+8	1.881E+8
$S_{y,1eff}$ (mm ³)	6.175E+7	9.344E+7	1.059E+8	9.133E+7	1.059E+8	7.864E+7
$S_{y,2eff}$ (mm ³)	7.058E+7	1.15E+8	1.343E+8	1.118E+8	1.343E+8	9.339E+7
$S_{y,3eff}$ (mm ³)	5.921E+7	1.127E+8	1.337E+8	1.091E+8	1.337E+8	8.771E+7
$S_{y,4eff}$ (mm ³)	1.615E-291	8.518E+7	1.187E+8	7.951E+7	1.187E+8	4.539E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	4.78
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	3.307E-2	3.767E-5	-4.401E+2	0E+00	-5.774E+2	-5.668E+3
$\Delta M_{Non\ fessurata}$ (kNm)	3.307E-2	3.625E-5	-4.22E+2	0E+00	-4.574E+2	-4.49E+3

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8	0	0.9	0	1	0	0	0	0	0.9	0	3.9	0	0	0
σ_7	0	13.4	22.8	14.5	25	0	0	47.7	5.1	14.3	21.8	61.4	123.5	0.316
σ_6	0	11	19.8	11.9	21.7	0	0	41.5	3.8	12.5	16.4	53.5	107.5	0.275
σ_5	0	0.6	0	0.7	0	0	0	0	0.6	0	2.4	0	0	0
σ_4	57.2	9.4	17.8	10.2	19.5	0	0	94.5	2.9	11.2	12.7	48.2	153.9	0.482
σ_3	54.1	8.4	16.5	9	18.1	0	0	88.7	2.4	10.4	10.4	44.7	143.8	0.451
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.5	1	1.2	0.004
σ_1	-56.5	-29.7	-31.2	-32.4	-34	0	0	-121.7	-17.9	-19.3	-75.9	-81.6	-222.6	0.698
σ_0	-59.6	-30.8	-32.5	-33.5	-35.4	0	0	-127.5	-18.5	-20.2	-78.3	-85.1	-232.7	0.729

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.729 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.84 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.31 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.7 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.29 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 109 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.702 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 5.14E+6$ N

Essendo:

$$a/h_w = 1.835, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 6.528$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 4.811E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 3.285E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.592, \quad \lambda_w = 1.401, \quad \tau_{cr} = 104.4, \quad C = 1205.9$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 3.279E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 4.239E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.774$$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 1.021E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.14E+6$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.85, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.908, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.729$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	-1.4E+0	-1.85E+6	7.66E+6	2.13E+5
2a	-1.34E-3	-6.39E+5	4.58E+6	1.04E+5
2b	1.56E+4	-4.23E+4	5E+6	-1.37E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-6.13E+3	-2.15E+0	-2.37E+6	3.72E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.5E+5	-2.18E+6	8.54E+6	3.22E+5
Totale	2.6E+5	-4.72E+6	2.34E+7	6.63E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	109	2245.64	1	-0.73	4
Piattabanda superiore	7.33				1
Piattabanda inferiore	7.33				1
classe della sezione					4

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	2.597E+5	M _{Ed} (Nm)	2.34E+7	N _{Ed} (N)	2.597E+5
N _{Rd} (N)	6.744E+7	M _{Rd} (Nm)	5.866E+7	M _{Ed} (Nm)	2.34E+7
				M _{Rd} (Nm)	5.873E+7
N _{Ed} / N _{Rd}	0.004	M _{Ed} / M _{Rd}	0.399	M _{Ed} / M _{Rd}	0.398

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.9	0	1	0	0	0	0	-0.8	0	2.8	0	0	0
σ ₇	0	13.5	22.9	14.5	25.1	0	0	48	-4.2	-11.9	15.6	43.9	80	0.204
σ ₆	0	11.2	20	12	21.9	0	0	41.9	-3.2	-10.4	12	38.5	70	0.179
σ ₅	0	0.6	0	0.7	0	0	0	0	-0.5	0	1.8	0	0	0
σ ₄	57.6	9.6	18	10.4	19.7	0	0	95.4	-2.5	-9.4	9.5	34.8	120.8	0.379
σ ₃	54.6	8.6	16.7	9.2	18.3	0	0	89.7	-2	-8.7	7.9	32.4	113.4	0.355

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0.6	1.3	1.3	0.004
σ_1	-54.6	-28.4	-29.9	-30.9	-32.6	0	0	-117.1	14.2	15.5	-50.5	-54.5	-156.1	0.489
σ_0	-57.6	-29.4	-31.2	-32	-34	0	0	-122.8	14.7	16.1	-52.1	-56.9	-163.5	0.513

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.513 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.84 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.33 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.9 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.64 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmin)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β	$A*\beta$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda superiore DX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore SX	450	60	---	---	---	1	27000
Piattabanda inferiore DX	450	60	---	---	---	1	27000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmin)

	Anima
b (mm)	2180
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.99
σ_{sup} (N/mm ²)	112.38
σ_{inf} (N/mm ²)	-161.47
ψ	-0.7
K_σ	16.92
λ_p	1.15
b_c (mm)	1285.41
$b_{c, sup}$ (mm)	771.24
$b_{c, inf}$ (mm)	514.16
ρ_{loc}	0.78
b_{ceff} (mm)	998.18
$b_{ceff, sup}$ (mm)	598.91
$b_{ceff, inf}$ (mm)	399.27
ϕ_{Foro} (mm)	287.23

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmin)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, Edge sup}$	1.542E+4	959.8	7.646E+8
$A_{c, 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, Edge inf}$	1.028E+4	317.1	2.265E+8
$A_{c, tot}$	2.571E+4	702.7	3.54E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmin)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, eff, Edge sup}$	1.198E+4	1046	3.58E+8
$A_{c, eff, 1}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, eff, 2}$	0E+00	0	0E+00
$A_{c, eff, Edge inf}$	7.985E+3	259.6	1.061E+8
$A_{c, eff, tot}$	1.996E+4	731.4	3.427E+9
$A_{c, eff, loc}$	0E+00		

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmin)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	270.66	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	8.65
λ_p	1.145	λ_c	0.777
ρ_p	0.777	ρ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmin)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
Edge sup	1.198E+4	1046	3.58E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	7.985E+3	259.6	1.061E+8
Totale	1.996E+4	731.4	3.427E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmin)

	ΔA (mm ²)	z _G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-5.745E+3	602.9	-3.949E+7
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.459E+5	2.655E+5	3.906E+5	2.519E+5	3.906E+5	1.925E+5
z _G (mm)	1171.548	1757.75	1988.961	1718.645	1988.961	1483.593
Δz_{Geff} (mm)	-21.55	-24.46	-20.09	-24.88	-20.09	-25.52
J _{y,eff} (mm ⁴)	1.509E+11	2.627E+11	3.077E+11	2.552E+11	3.077E+11	2.098E+11
W _{y,0eff} (mm ³)	-1.288E+8	-1.495E+8	-1.547E+8	-1.485E+8	-1.547E+8	-1.414E+8
W _{y,1eff} (mm ³)	-1.358E+8	-1.548E+8	-1.595E+8	-1.538E+8	-1.595E+8	-1.474E+8
W _{y,3eff} (mm ³)	1.413E+8	5.448E+8	1.226E+9	4.894E+8	1.226E+9	2.774E+8
W _{y,4eff} (mm ³)	1.338E+8	4.845E+8	9.892E+8	4.389E+8	9.892E+8	2.57E+8
W _{y,5eff} (mm ³)	1E+300	4.363E+8	8.292E+8	3.979E+8	8.292E+8	2.394E+8
W _{y,6eff} (mm ³)	1E+300	4.142E+8	7.634E+8	3.79E+8	7.634E+8	2.31E+8
W _{y,7eff} (mm ³)	1E+300	3.411E+8	5.708E+8	3.153E+8	5.708E+8	2.009E+8
W _{y,8eff} (mm ³)	1E+300	3.119E+8	5.035E+8	2.895E+8	5.035E+8	1.879E+8
S _{y,1eff} (mm ³)	6.164E+7	9.33E+7	1.058E+8	9.119E+7	1.058E+8	7.849E+7
S _{y,2eff} (mm ³)	7.073E+7	1.155E+8	1.35E+8	1.123E+8	1.35E+8	9.37E+7
S _{y,3eff} (mm ³)	5.932E+7	1.132E+8	1.344E+8	1.096E+8	1.344E+8	8.798E+7
S _{y,4eff} (mm ³)	1.618E-291	8.55E+7	1.192E+8	7.98E+7	1.192E+8	4.551E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	4.22
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	3.026E-2	3.408E-5	-3.982E+2	0E+00	1.564E+2	-6.386E+3
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	3.026E-2	3.266E-5	-3.801E+2	0E+00	1.231E+2	-5.027E+3

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_8	0	0.9	0	1	0	0	0	0	-0.8	0	2.8	0	0	0
σ_7	0	13.4	22.8	14.5	25	0	0	47.8	-4.2	-11.9	15.6	43.8	79.7	0.204
σ_6	0	11.1	19.8	11.9	21.7	0	0	41.6	-3.1	-10.3	11.8	38.2	69.5	0.178
σ_5	0	0.6	0	0.7	0	0	0	0	-0.5	0	1.8	0	0	0
σ_4	57.2	9.5	17.8	10.2	19.5	0	0	94.6	-2.4	-9.3	9.3	34.5	119.8	0.376
σ_3	54.2	8.4	16.5	9.1	18.1	0	0	88.8	-2	-8.6	7.6	32.1	112.3	0.352
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0.6	1.3	1.3	0.004
σ_1	-56.4	-29.6	-31.1	-32.2	-33.9	0	0	-121.3	14.9	16.1	-52.9	-56.6	-161.8	0.507
σ_0	-59.4	-30.6	-32.4	-33.4	-35.3	0	0	-127.1	15.3	16.8	-54.5	-59	-169.4	0.531

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.531 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.84 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.31 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.9 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.6 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 109 > 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5} = 53.702 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **$V_{b,Rd} = 5.368E+6$ N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.835, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 6.528$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 4.811E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 5.571E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.592, \quad \lambda_w = 1.401, \quad \tau_{cr} = 104.4, \quad C = 1205.9$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 2.395E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 4.239E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.565$$

Resistenza plastica: **$V_{pl,Rd} = 1.021E+7$ N**

Resistenza a taglio: **$V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.368E+6$ N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.879, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.981, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.531$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	9.25E-2	-1.33E+6	3.42E+6	1.53E+5
2a	-9.89E-4	-4.73E+5	3.39E+6	7.71E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.17E+6	-1.14E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.71E+4	1.93E+0	2.38E+6	-6.42E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.26E+5	-1.36E+6	8.99E+6	3.14E+5
Totale	1.56E+5	-3.2E+6	2.24E+7	4.69E+5

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.6	0	0.8	0	0	0	0	0.8	0	2.9	0	0	0	0
σ_7	0	10	16.9	12.1	20.9	0	0	37.8	4.2	12	16.1	45.5	95.4	95.4	0.265
σ_6	0	8.3	14.8	10	18.2	0	0	33	3.2	10.5	12.3	39.8	83.3	83.3	0.232
σ_5	0	0.5	0	0.6	0	0	0	0	0.5	0	1.8	0	0	0	0
σ_4	25.8	7.1	13.3	8.6	16.5	0	0	55.6	2.5	9.4	9.7	36	101	101	0.301
σ_3	24.4	6.4	12.4	7.7	15.3	0	0	52.1	2.1	8.8	8	33.5	94.3	148	0.442
σ_2	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0.1	0.3	0.6	0.8	127.7	0.36
σ_1	-24.4	-21	-22.1	-25.7	-27.2	0	0	-73.7	-14.2	-15.5	-53.5	-58	-147.2	180.2	0.538
σ_0	-25.8	-21.8	-23.1	-26.7	-28.3	0	0	-77.2	-14.7	-16.1	-55.2	-60.6	-153.9	153.9	0.459
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0	0	-0.6	-0.3	-0.5		
τ_3	-26.4	-10.3	-10	-0.8	-0.7	0	0	-37.2	0	0	-29.9	-28.7	-65.9		
τ_2	-31.6	-10.5	-10.7	-0.8	-0.8	0	0	-43.1	0	0	-30.1	-30.6	-73.7		
τ_1	-26.4	-8.1	-8.5	-0.6	-0.6	0	0	-35.6	0	0	-22.3	-24.5	-60		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.538 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.45 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.05 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.12 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.34 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	9.25E-2	-1.33E+6	3.42E+6	1.53E+5
2a	-9.89E-4	-4.73E+5	3.39E+6	7.71E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.17E+6	-1.14E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.79E+0	-1.98E+6	3.1E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.63E+5	-1.62E+6	6.32E+6	2.31E+5
Totale	1.71E+5	-3.46E+6	1.53E+7	4.81E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.6	0	0.8	0	0	0	0	-0.6	0	2.1	0	0	0	0
σ_7	0	10	16.9	12.1	20.9	0	0	37.8	-3.5	-9.9	11.5	32.4	60.3	60.3	0.168
σ_6	0	8.3	14.8	10	18.2	0	0	33	-2.6	-8.7	8.8	28.4	52.8	52.8	0.147
σ_5	0	0.5	0	0.6	0	0	0	0	-0.4	0	1.3	0	0	0	0
σ_4	25.8	7.1	13.3	8.6	16.5	0	0	55.6	-2.1	-7.8	7	25.7	73.4	73.4	0.219
σ_3	24.4	6.4	12.4	7.7	15.3	0	0	52.1	-1.7	-7.3	5.8	23.9	68.7	141.3	0.422
σ_2	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.4	0.8	0.9	137.7	0.388
σ_1	-24.4	-21	-22.1	-25.7	-27.2	0	0	-73.7	11.8	12.9	-37.5	-40.4	-101.3	151	0.451
σ_0	-25.8	-21.8	-23.1	-26.7	-28.3	0	0	-77.2	12.2	13.4	-38.7	-42.2	-105.9	105.9	0.316
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0	0	-0.7	-0.4	-0.5		
τ_3	-26.4	-10.3	-10	-0.8	-0.7	0	0	-37.2	0	0	-35.6	-34.1	-71.3		

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

τ_2	-31.6	-10.5	-10.7	-0.8	-0.8	0	0	-43.1	0	0	-35.8	-36.5	-79.5		
τ_1	-26.4	-8.1	-8.5	-0.6	-0.6	0	0	-35.6	0	0	-26.5	-29.1	-64.6		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.451 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.45 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.05 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.9 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.97 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	9.25E-2	-1.33E+6	3.42E+6	1.53E+5
2a	-9.89E-4	-4.73E+5	3.39E+6	7.71E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.17E+6	-1.14E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.71E+4	1.93E+0	2.38E+6	-6.42E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-4.13E+4	-7.31E+5	4.82E+6	1.35E+5
Totale	-1.13E+4	-2.57E+6	1.82E+7	2.9E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.6	0	0.8	0	0	0	0	0.8	0	1.5	0	0
σ_7	0	9.9	16.9	12.1	20.8	0	0	37.7	4.2	11.9	8.3	23.7	73.3
σ_6	0	8.2	14.7	9.9	18.1	0	0	32.7	3.2	10.4	6.2	20.6	63.7
σ_5	0	0.5	0	0.6	0	0	0	0	0.5	0	0.9	0	0
σ_4	25.5	7	13.2	8.5	16.2	0	0	54.9	2.4	9.3	4.7	18.5	82.8
σ_3	24.2	6.2	12.2	7.5	15.1	0	0	51.4	2	8.6	3.8	17.1	77.2
σ_2	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0.1	-0.1	-0.2	-0.1
σ_1	-25.3	-22.1	-23.2	-27.1	-28.4	0	0	-76.9	-15	-16.2	-30.6	-33.1	-126.2
σ_0	-26.7	-22.9	-24.1	-28	-29.6	0	0	-80.4	-15.5	-16.8	-31.5	-34.5	-131.7

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.45 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.03 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.73 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.41 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmax)

	Anima
b (mm)	2180
σ_{sup} (N/mm ²)	77.26
σ_{inf} (N/mm ²)	-125.86
σ_{Ed} (N/mm ²)	125.86
K_{σ}	15.36
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.99

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

τ_{Ed} (N/mm ²)	53.63
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	245.59
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	4.75
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	245.59
K_{τ}	6.53
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.763
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	9.25E-2	-1.33E+6	3.42E+6	1.53E+5
2a	-9.89E-4	-4.73E+5	3.39E+6	7.71E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.17E+6	-1.14E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.79E+0	-1.98E+6	3.1E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-1.39E+4	-9.24E+5	2.82E+6	7.43E+4
Totale	-5.96E+3	-2.77E+6	1.18E+7	3.24E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.6	0	0.8	0	0	0	0	-0.6	0	0.9	0	0
σ_7	0	9.9	16.9	12.1	20.8	0	0	37.7	-3.5	-9.9	4.9	14	41.8
σ_6	0	8.2	14.7	9.9	18.1	0	0	32.8	-2.6	-8.6	3.7	12.1	36.3
σ_5	0	0.5	0	0.6	0	0	0	0	-0.4	0	0.5	0	0
σ_4	25.6	7	13.2	8.5	16.3	0	0	55	-2	-7.7	2.8	10.9	58.2
σ_3	24.2	6.2	12.2	7.5	15.1	0	0	51.5	-1.6	-7.2	2.3	10.1	54.4
σ_2	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	-0.1	0
σ_1	-25.2	-22	-23.1	-26.9	-28.3	0	0	-76.6	12.4	13.4	-17.8	-19.3	-82.4
σ_0	-26.6	-22.8	-24	-27.9	-29.5	0	0	-80.1	12.8	14	-18.3	-20.1	-86.2

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.45 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.04 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.71 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.19 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmin)

Anima	
b (mm)	2180
σ_{sup} (N/mm ²)	54.48
σ_{inf} (N/mm ²)	-82.25
σ_{Ed} (N/mm ²)	82.25
K_{σ}	16.27
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.99
τ_{Ed} (N/mm ²)	57.6
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	260.15

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$\sigma_{cr} (C) (N/mm^2)$	4.75
$\sigma_{cr} (N/mm^2)$	260.15
K_{τ}	6.53
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.684
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, $n (m^{-1})$	20
Diametro dei pioli, $d (mm)$	19
Altezza dei pioli, $h (mm)$	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, $f_u (N/mm^2)$	450
Coefficiente $E_{cm} (N/mm^2)$	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, $f_{ck} (N/mm^2)$	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v, (N)$	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v, (N)$	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2}), (N)$	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $V_{Rd} = n P_{Rd} K_s (N/mm)$	1633.1
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo $V_{Ed} (N/mm)$	-1067.4
Coefficiente di utilizzo V_{Ed} / V_{Rd}	0.654
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_{y,eff} (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Fase 2a	-6.39E+5	8.55E+7	2.627E+11	-207.9
Fase 2b	-4.235E+4	8.657E+7	2.642E+11	-13.9
Fase 2c	0E+00	7.98E+7	2.552E+11	0
Fase 3a	-2.152E+0	1.192E+8	3.077E+11	0
Fase 3b	-2.182E+6	1.192E+8	3.077E+11	-845.6
Totale				-1067.4

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $V_{Rd} = n P_{Rd} K_s (N/mm)$	979.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo $V_{Ed} (N/mm)$	-795.9
Coefficiente di utilizzo V_{Ed} / V_{Rd}	0.812
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Fase 2a	-4.733E+5	8.843E+7	2.703E+11	-154.9
Fase 2b	-3.529E+4	8.956E+7	2.718E+11	-11.6
Fase 2c	0E+00	8.244E+7	2.622E+11	0
Fase 3a	-1.793E+0	1.241E+8	3.186E+11	0

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Fase 3b	-1.615E+6	1.241E+8	3.186E+11	-629.4
Totale				-795.9

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	9.25E-2	-1.33E+6	3.42E+6	1.53E+5
2a	-9.89E-4	-4.73E+5	3.39E+6	7.71E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.17E+6	-1.14E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.71E+4	1.93E+0	2.38E+6	-6.42E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-1.96E+4	-2.76E+5	1.68E+6	5.63E+4
3b max	1.51E+3	2.06E+4	-2.02E+5	-4.19E+3

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.6	0	0.8	0	0	0	0.8	0	0.5	0	-0.1	0	2.7	0	2.2	0	0
σ_7	0	10	16.9	12.1	20.9	0	0	4.2	12	2.9	8.3	-0.4	-1	29.2	58.1	26	48.8	10.7
σ_6	0	8.3	14.8	10	18.2	0	0	3.2	10.5	2.2	7.2	-0.3	-0.9	23.7	50.7	21.2	42.6	8.1
σ_5	0	0.5	0	0.6	0	0	0	0.5	0	0.3	0	0	0	1.8	0	1.5	0	0
σ_4	25.8	7.1	13.3	8.6	16.5	0	0	2.5	9.4	1.7	6.5	-0.2	-0.8	45.7	71.5	43.8	64.2	7.3
σ_3	24.4	6.4	12.4	7.7	15.3	0	0	2.1	8.8	1.4	6	-0.2	-0.7	41.9	66.9	40.4	60.1	6.8
σ_2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	-0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.1
σ_1	-24.4	-21	-22.1	-25.7	-27.2	0	0	-14.2	-15.5	-10.1	-11.1	1.2	1.3	-95.5	-100.2	-84.2	-87.8	12.4
σ_0	-25.8	-21.8	-23.1	-26.7	-28.3	0	0	-14.7	-16.1	-10.4	-11.5	1.2	1.4	-99.3	-104.8	-87.6	-91.9	12.9
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0	0	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0.1
τ_3	-26.4	-10.3	-10	-0.8	-0.7	0	0	0	0	-6.1	-5.8	0.5	0.4	-43.5	-43.5	-37	-37	6.5
τ_2	-31.6	-10.5	-10.7	-0.8	-0.8	0	0	0	0	-6.1	-6.2	0.5	0.5	-49	-49	-42.4	-42.4	6.6
τ_1	-26.4	-8.1	-8.5	-0.6	-0.6	0	0	0	0	-4.5	-5	0.3	0.4	-39.6	-39.6	-34.7	-34.7	4.9
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.74 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.85 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 2.15 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.49 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	9.25E-2	-1.33E+6	3.42E+6	1.53E+5
2a	-9.89E-4	-4.73E+5	3.39E+6	7.71E+4
2b	1.3E+4	3.53E+4	2.42E+6	-1.9E+4
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.27E+0	2.37E+6	-2.28E+4
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	1.51E+3	2.06E+4	-2.02E+5	-4.19E+3
3b max	-2.07E+3	-3.85E+5	8.88E+5	1.01E+4

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.6	0	0.5	0	0	0	0.8	0	-0.1	0	0.3	0	1.8	0	2.1	0	0
σ_7	0	10	16.9	7.1	12.1	0	0	4.2	11.8	-0.4	-1	1.6	4.4	20.8	39.9	22.7	45.4	6.5
σ_6	0	8.3	14.8	5.8	10.6	0	0	3.2	10.3	-0.3	-0.9	1.2	3.9	17	34.9	18.4	39.6	4.7
σ_5	0	0.5	0	0.3	0	0	0	0.5	0	0	0	0.2	0	1.2	0	1.4	0	0
σ_4	25.8	7.1	13.3	5	9.6	0	0	2.5	9.3	-0.2	-0.8	0.9	3.5	40.2	57.2	41.3	61.5	4.3
σ_3	24.4	6.4	12.4	4.5	8.9	0	0	2	8.7	-0.2	-0.7	0.8	3.2	37.1	53.6	38	57.6	4
σ_2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0
σ_1	-24.4	-21	-22.1	-14.9	-15.7	0	0	-14.2	-15.5	1.2	1.3	-5.3	-5.8	-73.3	-76.4	-79.9	-83.6	7.1
σ_0	-25.8	-21.8	-23.1	-15.4	-16.4	0	0	-14.7	-16.1	1.2	1.4	-5.5	-6.1	-76.4	-80	-83.1	-87.4	7.4
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0.2
τ_3	-26.4	-10.3	-10	0.8	0.7	0	0	0	0	0.5	0.4	-8.5	-8.1	-35.5	-35.5	-44.4	-44.4	8.9
τ_2	-31.6	-10.5	-10.7	0.8	0.8	0	0	0	0	0.5	0.5	-8.5	-8.7	-40.9	-40.9	-49.9	-49.9	9
τ_1	-26.4	-8.1	-8.5	0.6	0.6	0	0	0	0	0.3	0.4	-6.3	-6.9	-33.5	-33.5	-40.2	-40.2	6.7
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.8 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.23 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 2.15 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.45 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.8 x 0.928 x 1 x 1 = 1.67 < 1.98 (Appoggio)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.9 x 0.928 x 1 x 1 = 1.763 (Appoggio)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Appoggio)
	Luce per il momento (m):	40
	Luce per il taglio (m):	50
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno per i pioli:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	12.16	92.593	0.131
Piattabanda inferiore	21.55	92.593	0.233
Anima	11.565	74.074	0.156
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	12.163	67.523	0.18
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	21.55	67.523	0.319
Attacco anima-piattabanda superiore	11.283	82.963	0.136
Attacco anima-piattabanda inferiore	20.67	82.963	0.249
Attacco irrigidente verticale - anima	20.67	59.259	0.349
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	11.283	59.259	0.19
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	20.67	59.259	0.349
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	7.13	92.593	0.077
Piattabanda inferiore	12.422	92.593	0.134
Anima	15.857	74.074	0.214
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	7.125	67.523	0.106
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.814 \times 112 = 91.2 \text{ N/mm}^2$	12.422	67.523	0.184
Attacco anima-piattabanda superiore	6.615	82.963	0.08
Attacco anima-piattabanda inferiore	11.912	82.963	0.144
Attacco irrigidente verticale - anima	11.912	59.259	0.201
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	6.615	59.259	0.112
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	11.912	59.259	0.201
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 30.05 / (90 / 1.15) = 0.384$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 12.16 / (80 / 1.35) = 0.205$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.384 + 0.205 = 0.589$
VERIFICA SODDISFATTA	

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 41.21 / (90 / 1.15) = 0.527$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 7.13 / (80 / 1.35) = 0.12$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.527 + 0.12 = 0.647$
VERIFICA SODDISFATTA	

1.5 SEZIONE C4_CRACKED_15

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x30 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	20x2230 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5378x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.076E+5	2.082E+5	2.11E+5	1.94E+5	3.387E+5	1.319E+5
z _G (mm)	1058.81	1743.157	1753.114	1689.072	2027.083	1317.208
J _y (mm ⁴)	9.835E+10	2.031E+11	2.047E+11	1.948E+11	2.473E+11	1.374E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9.288E+7	-1.165E+8	-1.167E+8	-1.153E+8	-1.22E+8	-1.043E+8
W _{y,1} (mm ³)	-9.653E+7	-1.193E+8	-1.195E+8	-1.181E+8	-1.245E+8	-1.076E+8
W _{y,3} (mm ³)	8.12E+7	3.856E+8	3.96E+8	3.353E+8	1.018E+9	1.442E+8
W _{y,4} (mm ³)	7.924E+7	3.648E+8	3.742E+8	3.188E+8	9.062E+8	1.398E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.293E+8	3.372E+8	2.903E+8	7.429E+8	1.318E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.131E+8	3.204E+8	2.771E+8	6.777E+8	1.279E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.588E+8	2.641E+8	2.322E+8	4.937E+8	1.135E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.371E+8	2.417E+8	2.138E+8	4.317E+8	1.071E+8
S _{y,1} (mm ³)	3.74E+7	6.203E+7	6.239E+7	6.009E+7	7.225E+7	4.67E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.778E+7	9.104E+7	9.174E+7	8.728E+7	1.117E+8	6.301E+7
S _{y,3} (mm ³)	3.311E+7	8.827E+7	8.907E+7	8.391E+7	1.111E+8	5.393E+7
S _{y,4} (mm ³)	-1.118E-8	7.364E+7	7.471E+7	6.782E+7	1.042E+8	2.78E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	3.7E+0	-1.49E+6	-2.32E+6	2.1E+5
2a	-1.33E-3	-5.2E+5	1.25E+6	1.18E+5
2b	1.56E+4	-4.23E+4	4.83E+6	-4.01E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.05E+4	2.33E+0	2.85E+6	-8.73E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	3.9E+5	-6.05E+5	4.68E+6	2.33E+5
Totale	4.26E+5	-2.65E+6	1.13E+7	1.52E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	<i>c/t</i>	<i>z_{pl}</i> (mm)	<i>α</i>	<i>ψ</i>	Classe
Anima	111.5	1602.45	0.7	-0.7	4
Piattabanda superiore	14.67				1
Piattabanda inferiore	11				3
classe della sezione					4
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.261E+5	M _{Ed} (Nm)	1.129E+7	N _{Ed} (N)	4.261E+5
N _{Rd} (N)	4.59E+7	M _{Rd} (Nm)	4.341E+7	M _{Ed} (Nm)	1.129E+7
				M _{Rd} (Nm)	4.323E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.009	M _{Ed} /M _{Rd}	0.26	M _{Ed} /M _{Rd}	0.261
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.3	0	1.2	0	0	0	0	1.1	0	1.9	0	0	0
σ ₇	0	4.8	11	18.3	42.7	0	0	53.7	5.8	25.3	10.6	44.2	123.2	0.315
σ ₆	0	4	9.8	15.1	37.9	0	0	47.7	4.3	22.5	8.1	39.5	109.7	0.28
σ ₅	0	0.2	0	0.9	0	0	0	0	0.6	0	1.2	0	0	0
σ ₄	-29.3	3.4	9	13	34.6	0	0	14.3	3.2	20.6	6.3	36.4	71.2	0.211
σ ₃	-28.6	3.3	8.7	12.3	33.6	0	0	13.7	2.9	19.9	5.7	35.4	69	0.204
σ ₂	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2	1.2	3	3.2	0.01
σ ₁	24.1	-10.5	-11.7	-40.3	-44.7	0	0	-32.3	-22.9	-26.4	-36.4	-40.5	-99.2	0.293
σ ₀	25	-10.8	-12	-41.3	-46.2	0	0	-33.1	-23.3	-27.2	-37.2	-41.9	-102.2	0.302

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.315 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.54 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.11 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.53 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.93 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)

Componente	<i>b</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>λ_p</i>	<i>ρ</i>	<i>A_{c,eff}</i> (mm ²)	<i>β^k</i>	<i>A_{c,eff}*β^k</i> (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda superiore DX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda inferiore SX	450	40	---	---	---	1	18000
Piattabanda inferiore DX	450	40	---	---	---	1	18000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)

	Anima
<i>b</i> (mm)	2230
σ _{cr0E} (N/mm ²)	15.28
σ _{sup} (N/mm ²)	68.08
σ _{inf} (N/mm ²)	-104.78
ψ	-0.65
K _σ	16.03

λ_p	1.2
b_c (mm)	1351.73
$b_{c\ sup}$ (mm)	811.04
$b_{c\ sup}$ (mm)	540.69
ρ_{loc}	0.74
b_{ceff} (mm)	1002.21
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	601.32
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	400.88
ϕ_{Foro} (mm)	349.53

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
A_c Edge sup	1.622E+4	986.2	8.891E+8
A_c 1	0E+00	0	0E+00
A_c 2	0E+00	0	0E+00
A_c Edge inf	1.081E+4	310.3	2.635E+8
A_c tot	2.703E+4	715.9	4.116E+9
A_c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c,eff}$ Edge sup	1.203E+4	1091.1	3.624E+8
$A_{c,eff}$ 1	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ 2	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ Edge inf	8.018E+3	240.4	1.074E+8
$A_{c,eff}$ tot	2.004E+4	750.8	3.951E+9
$A_{c,eff,loc}$	0E+00		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	Piastra	Colonna	
$\sigma_{cr,p}$ (p)	244.92	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	8.65
λ_p	1.204	λ_c	0.741
ρ_p	0.741	ρ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
Edge sup	1.203E+4	1091.1	3.624E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	8.018E+3	240.4	1.074E+8
Totale	2.004E+4	750.8	3.951E+9

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	ΔA (mm ²)	z_G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-6.991E+3	615.6	-7.117E+7
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.006E+5	2.012E+5	3.317E+5	1.87E+5	3.317E+5	1.249E+5
z_G (mm)	1089.602	1782.331	2056.827	1729.207	2056.827	1356.461
Δz_{Geff} (mm)	-30.79	-39.17	-29.74	-40.13	-29.74	-39.25
$J_{y,eff}$ (mm ⁴)	9.681E+10	1.939E+11	2.33E+11	1.863E+11	2.33E+11	1.337E+11
$W_{y,0eff}$ (mm ³)	-8.885E+7	-1.088E+8	-1.133E+8	-1.078E+8	-1.133E+8	-9.857E+7
$W_{y,1eff}$ (mm ³)	-9.223E+7	-1.113E+8	-1.155E+8	-1.103E+8	-1.155E+8	-1.016E+8
$W_{y,3eff}$ (mm ³)	8.201E+7	3.975E+8	1.093E+9	3.446E+8	1.093E+9	1.464E+8

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$W_{y,4eff}$ (mm ³)	7.998E+7	3.745E+8	9.582E+8	3.264E+8	9.582E+8	1.417E+8
$W_{y,5eff}$ (mm ³)	1E+300	3.356E+8	7.686E+8	2.954E+8	7.686E+8	1.332E+8
$W_{y,6eff}$ (mm ³)	1E+300	3.18E+8	6.952E+8	2.811E+8	6.952E+8	1.291E+8
$W_{y,7eff}$ (mm ³)	1E+300	2.6E+8	4.945E+8	2.333E+8	4.945E+8	1.141E+8
$W_{y,8eff}$ (mm ³)	1E+300	2.371E+8	4.29E+8	2.14E+8	4.29E+8	1.075E+8
$S_{y,1eff}$ (mm ³)	3.851E+7	6.344E+7	7.333E+7	6.153E+7	7.333E+7	4.811E+7
$S_{y,2eff}$ (mm ³)	4.621E+7	8.565E+7	1.039E+8	8.228E+7	1.039E+8	6.026E+7
$S_{y,3eff}$ (mm ³)	3.228E+7	8.327E+7	1.035E+8	7.936E+7	1.035E+8	5.192E+7
$S_{y,4eff}$ (mm ³)	1.795E-291	6.97E+7	9.731E+7	6.435E+7	9.731E+7	2.685E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	6.56
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	-1.139E-1	5.206E-5	-6.123E+2	0E+00	-8.033E+2	-1.531E+4
$\Delta M_{Non\ fessurata}$ (kNm)	-1.139E-1	5.196E-5	-6.079E+2	0E+00	-6.087E+2	-1.16E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8	0	0.3	0	1.2	0	0	0	0	1.1	0	1.9	0	0	0
σ_7	0	4.8	11	18.3	42.4	0	0	53.4	5.8	25.2	10.6	44	122.5	0.313
σ_6	0	3.9	9.7	14.9	37.5	0	0	47.2	4.2	22.3	7.9	39.2	108.7	0.278
σ_5	0	0.2	0	0.9	0	0	0	0	0.6	0	1.2	0	0	0
σ_4	-29.1	3.3	8.8	12.6	34.2	0	0	14	3	20.3	6	36	70.3	0.208
σ_3	-28.3	3.2	8.6	11.9	33.1	0	0	13.3	2.7	19.7	5.4	35	68	0.201
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2	1.2	3.1	3.4	0.01
σ_1	25.2	-11.3	-12.3	-43.2	-47.4	0	0	-34.5	-24.6	-27.9	-39.2	-42.8	-105.2	0.311
σ_0	26.2	-11.5	-12.7	-44.2	-48.8	0	0	-35.4	-25.1	-28.8	-40	-44.2	-108.3	0.32

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.32 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.54 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.09 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.55 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.85 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=111.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=53.929 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=5.201E+6$ N

Essendo:

$$a/h_w=1.794, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=6.583$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=4.831E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=3.692E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.581, \quad \lambda_w=1.428, \quad \tau_{cr}=100.6, \quad C=1092.7$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.068E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=2.94E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.363$$

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 1.045E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.201E+6$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.51, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.549, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.32$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	3.7E+0	-1.49E+6	-2.32E+6	2.1E+5
2a	-1.33E-3	-5.2E+5	1.25E+6	1.18E+5
2b	1.56E+4	-4.23E+4	4.83E+6	-4.01E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-6.13E+3	-2.16E+0	-2.37E+6	8.2E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	4.46E+5	-1.93E+6	-7.35E+5	3.49E+5
Totale	4.55E+5	-3.98E+6	6.48E+5	2.84E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	111.5	1600.29	0.7	0.02	4
Piattabanda superiore	14.67				1
Piattabanda inferiore	11				3
classe della sezione					4

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.554E+5	M _{Ed} (Nm)	6.483E+5	N _{Ed} (N)	4.554E+5
N _{Rd} (N)	4.59E+7	M _{Rd} (Nm)	4.341E+7	M _{Ed} (Nm)	6.483E+5
				M _{Rd} (Nm)	4.322E+7
N _{Ed} / N _{Rd}	0.01	M _{Ed} / M _{Rd}	0.015	M _{Ed} / M _{Rd}	0.015

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	0.3	0	1.2	0	0	0	0	-0.9	0	-0.1	0	0	0
σ ₇	0	4.8	11	18.3	42.7	0	0	53.7	-4.8	-21	-0.2	-3.1	29.6	0.076
σ ₆	0	4	9.8	15.1	37.9	0	0	47.7	-3.5	-18.6	0.2	-2.4	26.7	0.068
σ ₅	0	0.2	0	0.9	0	0	0	0	-0.5	0	0.1	0	0	0
σ ₄	-29.3	3.4	9	13	34.6	0	0	14.3	-2.6	-17	0.5	-1.9	-4.6	0.014
σ ₃	-28.6	3.3	8.7	12.3	33.6	0	0	13.7	-2.3	-16.5	0.6	-1.7	-4.6	0.013

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	1.3	3.4	3.5	0.01
σ_1	24.1	-10.5	-11.7	-40.3	-44.7	0	0	-32.3	19	22	7.2	10.2	-0.1	0
σ_0	25	-10.8	-12	-41.3	-46.2	0	0	-33.1	19.4	22.7	7.3	10.4	0	0

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.076 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.54 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.11 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.6 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.64 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmin)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β	$A*\beta$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda superiore DX	450	30	---	---	---	1	13500
Piattabanda inferiore SX	450	40	---	---	---	1	18000
Piattabanda inferiore DX	450	40	---	---	---	1	18000

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmin)

Anima	
b (mm)	2230
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.28
σ_{sup} (N/mm ²)	-6.06
σ_{inf} (N/mm ²)	-0.48
ψ	0.08
K_σ	7.26
λ_p	1.79
b _c (mm)	2230
b _{c sup} (mm)	906.49
b _{c sup} (mm)	1323.51
ρ_{loc}	0.51
b _{ceff} (mm)	1128.44
b _{ceff sup} (mm)	458.71
b _{ceff sup} (mm)	669.73
ϕ_{Foro} (mm)	1101.56

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmin)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
A _{c Edge sup}	1.813E+4	1816.8	1.241E+9
A _{c 1}	0E+00	0	0E+00
A _{c 2}	0E+00	0	0E+00
A _{c Edge inf}	2.647E+4	701.8	3.864E+9
A _{c tot}	4.46E+4	1155	1.848E+10
A _c	0E+00		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmin)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
A _{c,eff Edge sup}	9.174E+3	2040.6	1.609E+8
A _{c,eff 1}	0E+00	0	0E+00
A _{c,eff 2}	0E+00	0	0E+00
A _{c,eff Edge inf}	1.339E+4	374.9	5.007E+8
A _{c,eff tot}	2.257E+4	1052	1.577E+10
A _{c,eff,loc}	0E+00		

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmin)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	110.91	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
β_{ac} (p)	1	β_{ac} (c)	8.65
λ_p	1.789	λ_c	0.506
ρ_p	0.506	ρ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmin)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
Edge sup	9.174E+3	2040.6	1.609E+8
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Edge inf	1.339E+4	374.9	5.007E+8
Totale	2.257E+4	1052	1.577E+10

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmin)

	ΔA (mm ²)	z _G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-2.203E+4	1260.5	-2.228E+9
Piattabanda superiore	0E+00	0	0E+00
Piattabanda inferiore	0E+00	0	0E+00

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	8.557E+4	1.862E+5	3.167E+5	1.719E+5	3.167E+5	1.099E+5
z _G (mm)	1006.878	1800.275	2080.413	1743.989	2080.413	1328.573
Δz_{Geff} (mm)	51.93	-57.12	-53.33	-54.92	-53.33	-11.37
J _{y,eff} (mm ⁴)	9.499E+10	1.952E+11	2.312E+11	1.88E+11	2.312E+11	1.351E+11
W _{y,0eff} (mm ³)	-9.434E+7	-1.084E+8	-1.111E+8	-1.078E+8	-1.111E+8	-1.017E+8
W _{y,1eff} (mm ³)	-9.825E+7	-1.109E+8	-1.133E+8	-1.103E+8	-1.133E+8	-1.048E+8
W _{y,3eff} (mm ³)	7.52E+7	4.155E+8	1.22E+9	3.573E+8	1.22E+9	1.435E+8
W _{y,4eff} (mm ³)	7.346E+7	3.905E+8	1.053E+9	3.381E+8	1.053E+9	1.391E+8
W _{y,5eff} (mm ³)	1E+300	3.487E+8	8.271E+8	3.051E+8	8.271E+8	1.31E+8
W _{y,6eff} (mm ³)	1E+300	3.298E+8	7.421E+8	2.901E+8	7.421E+8	1.27E+8
W _{y,7eff} (mm ³)	1E+300	2.682E+8	5.166E+8	2.398E+8	5.166E+8	1.126E+8
W _{y,8eff} (mm ³)	1E+300	2.44E+8	4.45E+8	2.196E+8	4.45E+8	1.063E+8
S _{y,1eff} (mm ³)	3.553E+7	6.409E+7	7.417E+7	6.206E+7	7.417E+7	4.711E+7
S _{y,2eff} (mm ³)	5.046E+7	8.318E+7	9.774E+7	8.045E+7	9.774E+7	6.221E+7
S _{y,3eff} (mm ³)	3.451E+7	8.098E+7	9.738E+7	7.768E+7	9.738E+7	5.335E+7
S _{y,4eff} (mm ³)	1.901E-291	6.789E+7	9.186E+7	6.307E+7	9.186E+7	2.753E+7

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	270.75
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	1.921E-1	1.507E-5	-1.773E+2	0E+00	6.964E+1	-5.068E+3
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	1.921E-1	7.576E-5	-8.957E+2	0E+00	3.268E+2	-2.378E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_8	0	0.3	0	1.2	0	0	0	0	-0.9	0	0	0	0	0
σ_7	0	4.7	11.1	17.7	43	0	0	54.1	-4.6	-21.1	-0.1	-2.5	30.5	0.078
σ_6	0	3.8	9.9	14.4	38.1	0	0	48	-3.2	-18.7	0.4	-1.8	27.5	0.07
σ_5	0	0.2	0	0.8	0	0	0	0	-0.5	0	0.1	0	0	0
σ_4	-31.6	3.2	9	12.1	34.8	0	0	12.2	-2.3	-17.1	0.7	-1.3	-6.2	0.018
σ_3	-30.9	3	8.7	11.4	33.8	0	0	11.6	-2	-16.6	0.8	-1.1	-6.1	0.018
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	-0.1	1.4	4.1	4.1	0.012
σ_1	23.7	-11.3	-12	-43.4	-45.9	0	0	-34.2	20.9	22.6	8.1	11.1	-0.5	0.001
σ_0	24.6	-11.6	-12.3	-44.4	-47.3	0	0	-35	21.3	23.3	8.2	11.3	-0.4	0.001

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.078 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.5 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.04 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.59 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.66 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=111.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=53.929 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 5.256E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.794, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=6.583$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=4.831E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=4.25E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.581, \quad \lambda_w=1.428, \quad \tau_{cr}=100.6, \quad C=1092.7$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=-8.567E+5 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=2.941E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=-0.029$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 1.045E+7 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.256E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.757, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.824, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.078$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.45E+0	-1.06E+6	-3.74E+6	1.5E+5
2a	-9.82E-4	-3.85E+5	9.29E+5	8.75E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.02E+6	-3.34E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.71E+4	1.94E+0	2.38E+6	-7.28E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.56E+5	-4.48E+5	3.46E+6	1.66E+5
Totale	2.86E+5	-1.93E+6	7.05E+6	6.18E+4

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.2	0	1	0	0	0	0	0.9	0	1.4	0	0	0	0
σ_7	0	3.6	8.2	15.3	35.5	0	0	43.7	4.9	21.1	7.8	32.4	97.2	97.2	0.27
σ_6	0	3	7.3	12.6	31.6	0	0	38.8	3.6	18.7	5.9	29	86.5	86.5	0.24
σ_5	0	0.2	0	0.7	0	0	0	0	0.5	0	0.9	0	0	0	0
σ_4	-47.2	2.5	6.6	10.8	28.9	0	0	-11.6	2.7	17.1	4.6	26.7	32.2	32.2	0.091
σ_3	-46	2.4	6.4	10.2	28	0	0	-11.6	2.4	16.6	4.2	25.9	30.9	67.9	0.191
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.8	1.9	2.2	79.2	0.223
σ_1	38.7	-7.8	-8.6	-33.6	-37.3	0	0	-7.2	-19.1	-22	-27	-30.2	-59.4	84.8	0.239
σ_0	40.2	-8	-8.9	-34.4	-38.5	0	0	-7.1	-19.4	-22.7	-27.6	-31.2	-61	61	0.172
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0	0	-0.2	-0.1	-0.2		
τ_3	-17.9	-8.4	-7.6	-0.8	-0.7	0	0	-26.1	0	0	-10.1	-8.8	-34.9		
τ_2	-25.8	-8.6	-8.8	-0.8	-0.8	0	0	-35.4	0	0	-10.1	-10.3	-45.7		
τ_1	-20.2	-5.9	-6.5	-0.5	-0.6	0	0	-27.3	0	0	-6.5	-7.6	-34.9		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.27 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.26 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.9 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.55 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.29 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.45E+0	-1.06E+6	-3.74E+6	1.5E+5
2a	-9.82E-4	-3.85E+5	9.29E+5	8.75E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.02E+6	-3.34E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.8E+0	-1.98E+6	6.83E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.97E+5	-1.43E+6	-5.5E+5	2.51E+5
Totale	3.05E+5	-2.91E+6	-1.31E+6	1.62E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	0.2	0	1	0	0	0	0	-0.7	0	-0.1	0	0	0	0
σ_7	0	3.6	8.2	15.3	35.5	0	0	43.7	-4	-17.5	-0.2	-2.6	23.7	23.7	0.066
σ_6	0	3	7.3	12.6	31.6	0	0	38.8	-2.9	-15.5	0.1	-2.1	21.3	21.3	0.059
σ_5	0	0.2	0	0.7	0	0	0	0	-0.4	0	0	0	0	0	0
σ_4	-47.2	2.5	6.6	10.8	28.9	0	0	-11.6	-2.2	-14.2	0.3	-1.7	-27.5	27.5	0.078
σ_3	-46	2.4	6.4	10.2	28	0	0	-11.6	-2	-13.8	0.3	-1.6	-26.9	97.6	0.275
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0.9	2.3	2.3	118.2	0.333
σ_1	38.7	-7.8	-8.6	-33.6	-37.3	0	0	-7.2	15.9	18.3	5.3	7.4	18.5	91.3	0.257
σ_0	40.2	-8	-8.9	-34.4	-38.5	0	0	-7.1	16.2	18.9	5.4	7.5	19.3	19.3	0.054
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0	0	-0.7	-0.3	-0.4		
τ_3	-17.9	-8.4	-7.6	-0.8	-0.7	0	0	-26.1	0	0	-32.1	-28.1	-54.2		

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

τ_2	-25.8	-8.6	-8.8	-0.8	-0.8	0	0	-35.4	0	0	-32.3	-32.8	-68.2		
τ_1	-20.2	-5.9	-6.5	-0.5	-0.6	0	0	-27.3	0	0	-20.9	-24.3	-51.6		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.333 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.26 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.9 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.46 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.49 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.45E+0	-1.06E+6	-3.74E+6	1.5E+5
2a	-9.82E-4	-3.85E+5	9.29E+5	8.75E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.02E+6	-3.34E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.71E+4	1.94E+0	2.38E+6	-7.28E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	-2.44E+4	-1.93E+5	1.89E+6	4.3E+4
Totale	5.64E+3	-1.67E+6	5.48E+6	-6.09E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.2	0	1	0	0	0	0	0.9	0	0.7	0	0
σ_7	0	3.5	8.1	15	35	0	0	43.1	4.8	20.8	3.7	16.2	80
σ_6	0	2.9	7.1	12.2	30.9	0	0	38	3.4	18.3	2.6	14.3	70.6
σ_5	0	0.2	0	0.7	0	0	0	0	0.5	0	0.4	0	0
σ_4	-46.5	2.4	6.5	10.2	28.1	0	0	-11.9	2.4	16.7	1.8	13	17.8
σ_3	-45.3	2.3	6.3	9.6	27.2	0	0	-11.9	2.1	16.2	1.5	12.5	16.8
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.2	0
σ_1	40.8	-8.6	-9.3	-37.3	-40.3	0	0	-8.8	-21.4	-23.8	-17.1	-19.2	-51.8
σ_0	42.4	-8.8	-9.6	-38.2	-41.6	0	0	-8.8	-21.8	-24.5	-17.5	-19.8	-53.1

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.24 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.86 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 2.82 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.72 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmax)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{sup} (N/mm ²)	16.98
σ_{inf} (N/mm ²)	-51.62
σ_{Ed} (N/mm ²)	51.62
K_{σ}	10.94
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.28

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

τ_{Ed} (N/mm ²)	33.45
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	167.13
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	4.75
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	167.13
K_{τ}	6.58
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.479
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.45E+0	-1.06E+6	-3.74E+6	1.5E+5
2a	-9.82E-4	-3.85E+5	9.29E+5	8.75E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.02E+6	-3.34E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.8E+0	-1.98E+6	6.83E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	5.9E+3	-8.36E+5	-9.49E+5	8.87E+4
Totale	1.38E+4	-2.32E+6	-1.71E+6	-1.16E+3

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	0.2	0	1	0	0	0	0	-0.7	0	-0.3	0	0
σ_7	0	3.6	8.4	15.2	36.5	0	0	44.9	-4	-18	-1.9	-8.5	18.5
σ_6	0	3	7.5	12.6	32.5	0	0	40	-2.9	-16	-1.4	-7.6	16.4
σ_5	0	0.2	0	0.7	0	0	0	0	-0.4	0	-0.2	0	0
σ_4	-50.8	2.5	6.9	10.7	29.8	0	0	-14.2	-2.1	-14.6	-1	-7	-35.8
σ_3	-49.6	2.4	6.7	10.2	28.9	0	0	-14.1	-1.9	-14.2	-0.9	-6.7	-35
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
σ_1	38.1	-7.8	-8.5	-33.7	-36.9	0	0	-7.4	16	18.2	7.7	8.8	19.6
σ_0	39.7	-8	-8.8	-34.5	-38.1	0	0	-7.3	16.4	18.7	7.9	9.1	20.5

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.25 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.9 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.18 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.28 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmin)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{sup} (N/mm ²)	-34.76
σ_{inf} (N/mm ²)	19.65
σ_{Ed} (N/mm ²)	34.76
K_{σ}	14.49
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.28
τ_{Ed} (N/mm ²)	46.21
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	221.47

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

$\sigma_{cr}(C)$ (N/mm ²)	4.75
$\sigma_{cr}(N)$ (N/mm ²)	221.47
K_{τ}	6.58
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.529
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, n (m ⁻¹)	20
Diametro dei pioli, d (mm)	19
Altezza dei pioli, h (mm)	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, f_u (N/mm ²)	450
Coefficiente E_{cm} (N/mm ²)	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, f_{ck} (N/mm ²)	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$, (N)	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$, (N)	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2})$, (N)	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $V_{Rd} = n P_{Rd} K_s$ (N/mm)	1633.1
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo V_{Ed} (N/mm)	-962.9
Coefficiente di utilizzo V_{Ed} / V_{Rd}	0.59
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	$J_{y,eff}$ (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	-5.198E+5	6.789E+7	1.952E+11	-180.8
Fase 2b	-4.235E+4	6.877E+7	1.965E+11	-14.8
Fase 2c	0E+00	6.307E+7	1.88E+11	0
Fase 3a	-2.155E+0	9.186E+7	2.312E+11	0
Fase 3b	-1.931E+6	9.186E+7	2.312E+11	-767.2
Totale				-962.9

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $V_{Rd} = n P_{Rd} K_s$ (N/mm)	979.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo V_{Ed} (N/mm)	-754.9
Coefficiente di utilizzo V_{Ed} / V_{Rd}	0.77
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	-3.85E+5	7.364E+7	2.031E+11	-139.6
Fase 2b	-3.529E+4	7.471E+7	2.047E+11	-12.9
Fase 2c	0E+00	6.782E+7	1.948E+11	0
Fase 3a	-1.796E+0	1.042E+8	2.473E+11	0

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Fase 3b	-1.43E+6	1.042E+8	2.473E+11	-602.4
Totale				-754.9

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.45E+0	-1.06E+6	-3.74E+6	1.5E+5
2a	-9.82E-4	-3.85E+5	9.29E+5	8.75E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	4.02E+6	-3.34E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	1.71E+4	1.94E+0	2.38E+6	-7.28E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-1.06E+4	-2.12E+4	6.88E+5	1.57E+3
3b max	6.53E+3	-2.42E+5	-6.64E+5	8.24E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.2	0	1	0	0	0	0.9	0	0.3	0	-0.2	0	2.4	0	1.9	0	0
σ_7	0	3.6	8.2	15.3	35.5	0	0	4.9	21.1	1.4	6	-1.3	-5.8	25.1	70.8	22.4	59	15
σ_6	0	3	7.3	12.6	31.6	0	0	3.6	18.7	1	5.3	-1	-5.1	20.1	62.9	18.2	52.4	10.4
σ_5	0	0.2	0	0.7	0	0	0	0.5	0	0.1	0	-0.1	0	1.6	0	1.3	0	0
σ_4	-47.2	2.5	6.6	10.8	28.9	0	0	2.7	17.1	0.7	4.8	-0.7	-4.7	-30.4	10.3	-31.8	0.8	9.5
σ_3	-46	2.4	6.4	10.2	28	0	0	2.4	16.6	0.6	4.7	-0.6	-4.6	-30.4	9.7	-31.6	0.5	9.2
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0	-0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1
σ_1	38.7	-7.8	-8.6	-33.6	-37.3	0	0	-19.1	-22	-5.6	-6.5	5.4	6.2	-27.3	-35.7	-16.4	-23	12.7
σ_0	40.2	-8	-8.9	-34.4	-38.5	0	0	-19.4	-22.7	-5.7	-6.7	5.5	6.4	-27.3	-36.5	-16.1	-23.4	13.1
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0.1
τ_3	-17.9	-8.4	-7.6	-0.8	-0.7	0	0	0	0	-0.5	-0.4	-5.4	-4.7	-27.5	-27.5	-32.4	-32.4	5
τ_2	-25.8	-8.6	-8.8	-0.8	-0.8	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-5.5	-5.5	-35.7	-35.7	-40.7	-40.7	5
τ_1	-20.2	-5.9	-6.5	-0.5	-0.6	0	0	0	0	-0.3	-0.4	-3.5	-4.1	-26.9	-26.9	-30.1	-30.1	3.2
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.4 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.57 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.9 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.28 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.45E+0	-1.06E+6	-3.74E+6	1.5E+5
2a	-9.82E-4	-3.85E+5	9.29E+5	8.75E+4
2b	1.3E+4	3.53E+4	2.69E+6	-3.48E+5
Rit.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.27E+0	2.37E+6	-8.7E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	7.08E+2	2.05E+4	-8.48E+4	-5.69E+3
3b max	5.26E+3	-3.34E+5	-6.06E+5	5.86E+4

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	0.2	0	0.7	0	0	0	0.9	0	0	0	-0.2	0	1.8	0	1.6	0	0
σ_7	0	3.6	8.2	10.2	23.8	0	0	4.8	20.9	-0.2	-0.7	-1.2	-5.3	18.5	52.1	17.4	47.5	6.3
σ_6	0	3	7.3	8.4	21.1	0	0	3.5	18.5	-0.1	-0.7	-0.9	-4.7	14.8	46.3	14	42.2	4
σ_5	0	0.2	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	-0.1	0	1.2	0	1	0	0
σ_4	-47.2	2.5	6.6	7.2	19.3	0	0	2.6	17	-0.1	-0.6	-0.7	-4.3	-34.8	-4.8	-35.4	-8.5	3.7
σ_3	-46	2.4	6.4	6.8	18.7	0	0	2.3	16.4	-0.1	-0.6	-0.6	-4.2	-34.5	-5	-35	-8.6	3.6
σ_2	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0
σ_1	38.7	-7.8	-8.6	-22.4	-24.9	0	0	-19	-22	0.7	0.8	4.9	5.7	-9.9	-16	-5.7	-11.2	4.9
σ_0	40.2	-8	-8.9	-23	-25.7	0	0	-19.4	-22.7	0.7	0.8	5	5.9	-9.4	-16.2	-5.1	-11.2	5
τ_4	0	-0.2	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.3	0.2
τ_3	-17.9	-8.4	-7.6	0.8	0.7	0	0	0	0	0.5	0.4	-7.5	-6.6	-25	-25	-33	-33	8
τ_2	-25.8	-8.6	-8.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0.5	0.5	-7.6	-7.7	-33.2	-33.2	-41.2	-41.2	8
τ_1	-20.2	-5.9	-6.5	0.5	0.6	0	0	0	0	0.3	0.3	-4.9	-5.7	-25.2	-25.2	-30.4	-30.4	5.2
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.77 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.15 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.57 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.04 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.15 x 0.928 x 1 x 1 = 1.995 < 2 (Campata)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.45 x 0.928 x 1 x 1 = 2.273 (Campata)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Campata)
	Luce per il momento (m):	50
	Luce per il taglio (m):	20
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno per i pioli:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	19.04	92.593	0.206
Piattabanda inferiore	26.123	92.593	0.282
Anima	11.329	74.074	0.153
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	19.039	77.564	0.245
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.889 \times 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	26.123	73.762	0.354
Attacco anima-piattabanda superiore	18.45	82.963	0.222
Attacco anima-piattabanda inferiore	25.337	82.963	0.305
Attacco irrigidente verticale - anima	25.337	59.259	0.428
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	18.45	59.259	0.311
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	25.337	59.259	0.428
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	7.37	92.593	0.08
Piattabanda inferiore	10.044	92.593	0.108
Anima	18.23	74.074	0.246
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	7.374	77.564	0.095
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c$ $= 0.889 \times 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	10.044	73.762	0.136
Attacco anima-piattabanda superiore	7.147	82.963	0.086
Attacco anima-piattabanda inferiore	9.741	82.963	0.117
Attacco irrigidente verticale - anima	9.741	59.259	0.164
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	7.147	59.259	0.121
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	9.741	59.259	0.164
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 24.2 / (90 / 1.15) = 0.309$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 19.04 / (80 / 1.35) = 0.321$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.309 + 0.321 = 0.631$
VERIFICA SODDISFATTA	

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 38.95 / (90 / 1.15) = 0.498$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 7.37 / (80 / 1.35) = 0.124(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.498 + 0.124 = 0.622(*)$
VERIFICA SODDISFATTA	

(*) Verifica non significativa (Piattabanda superiore compressa)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

1.6 SEZIONE C4_19

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x30 mm
Piattabanda inferiore	900x40 mm
Anima	20x2230 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5625x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 72 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 32 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.076E+5	2.128E+5	2.158E+5	1.979E+5	3.493E+5	1.33E+5
z _G (mm)	1058.81	1759.049	1769.013	1704.809	2040.781	1326.806
J _y (mm ⁴)	9.835E+10	2.056E+11	2.071E+11	1.972E+11	2.495E+11	1.389E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9.288E+7	-1.169E+8	-1.171E+8	-1.157E+8	-1.222E+8	-1.047E+8
W _{y,1} (mm ³)	-9.653E+7	-1.196E+8	-1.198E+8	-1.184E+8	-1.247E+8	-1.079E+8
W _{y,3} (mm ³)	8.12E+7	4.023E+8	4.134E+8	3.489E+8	1.088E+9	1.472E+8
W _{y,4} (mm ³)	7.924E+7	3.8E+8	3.901E+8	3.313E+8	9.623E+8	1.427E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.421E+8	3.505E+8	3.009E+8	7.814E+8	1.344E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.248E+8	3.325E+8	2.869E+8	7.102E+8	1.304E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.673E+8	2.729E+8	2.395E+8	5.12E+8	1.156E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.444E+8	2.492E+8	2.203E+8	4.461E+8	1.091E+8
S _{y,1} (mm ³)	3.74E+7	6.261E+7	6.296E+7	6.065E+7	7.275E+7	4.705E+7
S _{y,2} (mm ³)	4.778E+7	9.216E+7	9.286E+7	8.837E+7	1.128E+8	6.36E+7
S _{y,3} (mm ³)	3.311E+7	8.955E+7	9.035E+7	8.517E+7	1.123E+8	5.471E+7
S _{y,4} (mm ³)	-1.118E-8	7.535E+7	7.642E+7	6.951E+7	1.057E+8	2.884E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	5.06E+1	-7.26E+5	-1.43E+7	2.4E+5
2a	-1.3E-3	-2.65E+5	-2.55E+6	1.13E+5
2b	1.48E+4	3.16E+4	3.52E+6	1.3E+4
Rit.Iso	-5.67E+6	0	-4.03E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-6.13E+3	-2.17E+0	-2.37E+6	4.57E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	8.55E+5	-9.38E+5	-1.35E+7	4.11E+5
Totale	-4.8E+6	-1.9E+6	-3.33E+7	7.82E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	<i>c/t</i>	<i>z_{pl}</i> (mm)	<i>α</i>	<i>ψ</i>	Classe
Anima	111.5	2289.64	-0.01	-1.25	1
Piattabanda superiore	14.67				1
Piattabanda inferiore	11				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-4.802E+6	M _{Ed} (Nm)	-3.326E+7	N _{Ed} (N)	-4.802E+6
N _{Rd} (N)	-7.126E+7	M _{Rd} (Nm)	-5.124E+7	M _{Ed} (Nm)	-3.326E+7
				M _{Rd} (Nm)	-5.245E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.067	M _{Ed} /M _{Rd}	0.649	M _{Ed} /M _{Rd}	0.634

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	-0.6	0	2.5	0	0	0	0	-0.9	0	-4.5	0	-3.5	0.184
σ ₇	0	-9.5	-22.1	-28	30.6	0	0	8.5	-4.6	-20.6	-23.9	-110.4	-66.2	0.169
σ ₆	0	-7.9	-19.6	-27.7	27.1	0	0	7.6	-3.4	-18.2	-16.6	-97.2	-55.5	0.142
σ ₅	0	-0.4	0	2.5	0	0	0	0	-0.5	0	-2.4	0	-0.8	0.043
σ ₄	-180.7	-6.7	-17.9	-27.5	24.8	0	0	-173.8	-2.5	-16.7	-11.6	-88.3	-229	0.677
σ ₃	-176.3	-6.3	-17.3	-27.4	24	0	0	-169.6	-2.2	-16.1	-10	-85.3	-222.3	0.657
σ ₂	0	0	0	-26.2	0.1	0	0	0.1	0	0	2.4	6.4	-23.8	0.07
σ ₁	148.3	21.3	23.6	-22	-32.5	0	0	139.4	19	21.9	110.8	131.6	277.5	0.821
σ ₀	154.2	21.8	24.4	-21.9	-33.5	0	0	145	19.4	22.6	113	135.5	286.5	0.847

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.847 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.85 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.06 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.46 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.8 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=111.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.929 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 4.861E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.794, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=6.583$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=4.831E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=2.941E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.581, \quad \lambda_w=1.428, \quad \tau_{cr}=100.6, \quad C=1092.7$$

$$M_{Ed}=-3.326E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-3.447E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.965$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 1.045E+7 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 4.861E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.39, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

RELAZIONE DI CALCOLO - Viadotto Margi

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.393, \quad \eta_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.634$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.67E+1	-7.79E+5	-1.32E+7	2.58E+5
2a	-1.3E-3	-2.65E+5	-2.55E+6	1.13E+5
2b	1.56E+4	-4.23E+4	4.34E+6	4.3E+4
Rit.Iso	-5.67E+6	0	-4.03E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-6.13E+3	-2.17E+0	-2.37E+6	4.57E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	7.9E+5	-1.31E+6	-9.86E+6	4.94E+5
Totale	-4.87E+6	-2.39E+6	-2.76E+7	9.13E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	111.5	2289.53	-0.01	-1.13	1
Piattabanda superiore	14.67				1
Piattabanda inferiore	11				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-4.867E+6	M _{Ed} (Nm)	-2.762E+7	N _{Ed} (N)	-4.867E+6
N _{Rd} (N)	-7.126E+7	M _{Rd} (Nm)	-5.124E+7	M _{Ed} (Nm)	-2.762E+7
				M _{Rd} (Nm)	-5.247E+7
N _{Ed} / N _{Rd}	0.068	M _{Ed} / M _{Rd}	0.539	M _{Ed} / M _{Rd}	0.526

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	-0.6	0	2.7	0	0	0	0	-0.9	0	-3.2	0	-2	0.105
σ ₇	0	-9.5	-22.1	-25	37.7	0	0	15.6	-4.6	-20.6	-17	-79.3	-56.2	0.144
σ ₆	0	-7.9	-19.6	-25.2	33.4	0	0	13.8	-3.4	-18.2	-11.6	-69.7	-48.1	0.123
σ ₅	0	-0.4	0	2.6	0	0	0	0	-0.5	0	-1.7	0	0.1	0.003
σ ₄	-166	-6.7	-17.9	-25.4	30.5	0	0	-153.4	-2.5	-16.7	-8	-63.1	-208.6	0.617
σ ₃	-162	-6.3	-17.3	-25.4	29.6	0	0	-149.7	-2.2	-16.1	-6.8	-61	-202.8	0.6
σ ₂	0	0	0	-26.2	0.1	0	0	0.1	0	0	2.3	5.9	-23.9	0.071
σ ₁	136.3	21.3	23.6	-28.8	-40.1	0	0	119.8	19	21.9	81.3	97.3	229.1	0.678
σ ₀	141.6	21.8	24.4	-28.9	-41.4	0	0	124.7	19.4	22.6	82.9	100.1	236.9	0.701

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.701 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.05 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 2.21 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.98 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.06 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling
 $h_w/t_w=111.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=53.929$ Verifica a Shear Buckling: **NECESSARIA**

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd}=4.984E+6 N**

Essendo:

$a/h_w=1.794$, $\eta=1.2$, $K_\tau=6.583$
contributo anima: $V_{bw,Rd}=4.831E+6$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=1.526E+5$ N
 $\chi_w=0.581$, $\lambda_w=1.428$, $\tau_{cr}=100.6$, $C=1092.7$
 $M_{Ed}=-2.762E+7$ Nm, $M_{f,Rd}=-3.449E+7$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.801$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd}=1.045E+7 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd}=min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=4.984E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.48, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.496, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.526$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.01E+1	-5.38E+5	-1.14E+7	1.78E+5
2a	-9.59E-4	-1.96E+5	-1.89E+6	8.4E+4
2b	1.23E+4	2.63E+4	2.94E+6	1.08E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.36E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.81E+0	-1.98E+6	3.81E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	5.85E+5	-6.94E+5	-1E+7	3.03E+5
Totale	-4.13E+6	-1.4E+6	-2.57E+7	5.8E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_{id}	η_1
σ_8	0	-0.5	0	2.1	0	0	0	0	-0.7	0	-3.3	0	-2.4	2.4	0.122
σ_7	0	-7.1	-16.4	-23.4	25.5	0	0	9.1	-3.9	-17.1	-17.9	-82.1	-52.2	52.2	0.145
σ_6	0	-5.8	-14.5	-23.1	22.6	0	0	8.1	-2.8	-15.2	-12.4	-72.3	-44.1	44.1	0.123
σ_5	0	-0.3	0	2.1	0	0	0	0	-0.4	0	-1.8	0	-0.4	0.4	0.022
σ_4	-143.5	-5	-13.2	-22.9	20.7	0	0	-136	-2.1	-13.9	-8.7	-65.7	-182.1	182.1	0.513
σ_3	-140	-4.7	-12.8	-22.8	20	0	0	-132.8	-1.8	-13.5	-7.5	-63.5	-176.9	183.6	0.517
σ_2	0	0	0	-21.8	0.1	0	0	0.1	0	0	1.7	4.4	-20.2	59.9	0.169

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_1	117.8	15.8	17.5	-18.3	-27.1	0	0	108.2	15.8	18.3	81.9	97.1	213	216.7	0.61
σ_0	122.4	16.2	18.1	-18.2	-28	0	0	112.5	16.1	18.8	83.5	100	220	220	0.62
τ_4	0	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.2	-0.4		
τ_3	-9	-4.3	-3.9	0.6	0.5	0	0	-12.4	0	0	-15.6	-13.7	-28.4		
τ_2	-13.1	-4.4	-4.5	0.6	0.6	0	0	-16.9	0	0	-15.7	-15.9	-32.6		
τ_1	-10.2	-3	-3.3	0.4	0.4	0	0	-13.1	0	0	-10.1	-11.8	-22.9		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.62 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.6 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.76 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.44 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.43 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.01E+1	-5.38E+5	-1.14E+7	1.78E+5
2a	-9.59E-4	-1.96E+5	-1.89E+6	8.4E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	3.62E+6	3.59E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.36E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.81E+0	-1.98E+6	3.81E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	5.37E+5	-9.69E+5	-7.29E+6	3.64E+5
Totale	-4.18E+6	-1.74E+6	-2.23E+7	6.66E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	-0.5	0	2.2	0	0	0	0	-0.7	0	-2.4	0	-1.3	1.3	0.066
σ_7	0	-7.1	-16.4	-20.9	31.4	0	0	15	-3.9	-17.1	-12.7	-59	-44.5	44.5	0.124
σ_6	0	-5.8	-14.5	-21	27.9	0	0	13.4	-2.8	-15.2	-8.7	-51.9	-38.4	38.4	0.107
σ_5	0	-0.3	0	2.2	0	0	0	0	-0.4	0	-1.2	0	0.2	0.2	0.011
σ_4	-143.5	-5	-13.2	-21.1	25.5	0	0	-131.2	-2.1	-13.9	-6	-47.1	-177.7	177.7	0.501
σ_3	-140	-4.7	-12.8	-21.2	24.7	0	0	-128.2	-1.8	-13.5	-5.2	-45.5	-172.9	183.7	0.517
σ_2	0	0	0	-21.8	0.1	0	0	0.1	0	0	1.5	4	-20.3	72.5	0.204
σ_1	117.8	15.8	17.5	-24	-33.4	0	0	101.8	15.8	18.3	60	71.6	185.4	191.6	0.54
σ_0	122.4	16.2	18.1	-24.1	-34.5	0	0	106	16.1	18.8	61.2	73.7	191.8	191.8	0.54
τ_4	0	-0.1	0	0	0	0	0	-0.1	0	0	-0.5	-0.2	-0.6		
τ_3	-9	-4.3	-3.9	-0.8	-0.7	0	0	-13.6	0	0	-21.8	-19.1	-35.9		
τ_2	-13.1	-4.4	-4.5	-0.8	-0.8	0	0	-18.4	0	0	-21.9	-22.2	-40.2		
τ_1	-10.2	-3	-3.3	-0.5	-0.6	0	0	-14.1	0	0	-14.1	-16.4	-27.9		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.54 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.77 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.88 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.32 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.22 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.01E+1	-5.38E+5	-1.14E+7	1.78E+5
2a	-9.59E-4	-1.96E+5	-1.89E+6	8.4E+4
2b	1.23E+4	2.63E+4	2.94E+6	1.08E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.36E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.81E+0	-1.98E+6	3.81E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	8.73E+4	-4.12E+5	-5.96E+6	1.53E+5
Totale	-4.63E+6	-1.12E+6	-2.16E+7	4.29E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	-0.5	0	2	0	0	0	0	-0.7	0	-2.1	0	-1.2
σ_7	0	-7.1	-16.5	-23.6	25.7	0	0	9.2	-3.9	-17.3	-11.4	-51.3	-45.9
σ_6	0	-5.8	-14.6	-23.3	22.8	0	0	8.2	-2.8	-15.3	-8.1	-45.5	-40
σ_5	0	-0.3	0	2.1	0	0	0	0	-0.4	0	-1.2	0	0.2
σ_4	-146.7	-5	-13.4	-23.1	20.9	0	0	-139.2	-2.1	-14	-5.9	-41.5	-182.8
σ_3	-143.2	-4.7	-13	-23	20.3	0	0	-136	-1.8	-13.6	-5.2	-40.2	-178
σ_2	0	0	0	-22	0.1	0	0	0.1	0	0	0.3	0.7	-21.8
σ_1	117.5	15.8	17.5	-18.5	-27	0	0	107.9	15.8	18.2	48.1	55.7	178.8
σ_0	122.2	16.2	18	-18.4	-27.9	0	0	112.3	16.2	18.8	49	57.5	185.2

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.59 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.75 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.22 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.16 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmin)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{sup} (N/mm ²)	-174.58
σ_{inf} (N/mm ²)	179.11
σ_{Ed} (N/mm ²)	174.58
K_{σ}	24.55
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.28
τ_{Ed} (N/mm ²)	22.34
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	375.12
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	4.75
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	375.12
K_{τ}	6.58
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.526
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmin)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.01E+1	-5.38E+5	-1.14E+7	1.78E+5
2a	-9.59E-4	-1.96E+5	-1.89E+6	8.4E+4
2b	1.3E+4	-3.53E+4	3.62E+6	3.59E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.36E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.81E+0	-1.98E+6	3.81E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	6.79E+4	-5.89E+5	-4.74E+6	1.9E+5
Totale	-4.65E+6	-1.36E+6	-1.97E+7	4.91E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	-0.5	0	2.2	0	0	0	0	-0.7	0	-1.7	0	-0.6
σ_7	0	-7.1	-16.6	-21.2	31.9	0	0	15.3	-3.9	-17.4	-9	-41	-41.1
σ_6	0	-5.8	-14.7	-21.4	28.3	0	0	13.6	-2.8	-15.4	-6.4	-36.4	-36.4
σ_5	0	-0.3	0	2.2	0	0	0	0	-0.4	0	-0.9	0	0.5
σ_4	-148.7	-5	-13.5	-21.5	25.9	0	0	-136.2	-2.1	-14.1	-4.7	-33.2	-181.8
σ_3	-145.1	-4.7	-13.1	-21.5	25.1	0	0	-133.1	-1.8	-13.7	-4.1	-32.2	-177.3
σ_2	0	0	0	-22.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0.2	0.5	-22
σ_1	117.3	15.8	17.5	-24.3	-33.3	0	0	101.4	15.9	18.2	38.3	44.3	162.9
σ_0	122	16.2	18	-24.4	-34.4	0	0	105.6	16.2	18.8	39	45.6	169

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.75 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.86 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.63 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.52 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmin)

	Anima
b (mm)	2230
σ_{sup} (N/mm ²)	-176.7
σ_{inf} (N/mm ²)	163
σ_{Ed} (N/mm ²)	176.7
K_{σ}	21.93
σ_{cr0E} (N/mm ²)	15.28
τ_{Ed} (N/mm ²)	27.07
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	335.22
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	4.75
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	335.22
K_{τ}	6.58
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.605
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, n (m ⁻¹)	20
Diametro dei pioli, d (mm)	19

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Altezza dei pioli, h (mm)	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, f_u (N/mm ²)	450
Coefficiente E_{cm} (N/mm ²)	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, f_{ck} (N/mm ²)	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 \gamma_v$, (N)	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$, (N)	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2})$, (N)	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1633.1
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	-667
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.408
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	-2.648E+5	7.535E+7	2.056E+11	-97.1
Fase 2b	-4.235E+4	7.642E+7	2.071E+11	-15.6
Fase 2c	0E+00	6.951E+7	1.972E+11	0
Fase 3a	-2.172E+0	1.057E+8	2.495E+11	0
Fase 3b	-1.309E+6	1.057E+8	2.495E+11	-554.4
Totale				-667

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmin)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	979.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	-495.5
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.506
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmin)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	-1.962E+5	7.535E+7	2.056E+11	-71.9
Fase 2b	-3.529E+4	7.642E+7	2.071E+11	-13
Fase 2c	0E+00	6.951E+7	1.972E+11	0
Fase 3a	-1.81E+0	1.057E+8	2.495E+11	0
Fase 3b	-9.693E+5	1.057E+8	2.495E+11	-410.6
Totale				-495.5

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.01E+1	-5.38E+5	-1.14E+7	1.78E+5
2a	-9.59E-4	-1.96E+5	-1.89E+6	8.4E+4
2b	1.37E+4	-2.63E+4	3.66E+6	3.21E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.36E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.27E+0	2.37E+6	-5.17E+3

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-1.15E+4	-2.11E+4	4.84E+5	7.91E+3
3b max	4.76E+4	-1.11E+5	-2.31E+6	9.32E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	-0.5	0	2.2	0	0	0	0.9	0	0.2	0	-0.8	0	2.8	0	1.8	0	0
σ_7	0	-7.1	-16.4	-20.7	31.8	0	0	4.6	20.5	0.9	4.1	-4.4	-19.6	-22.2	40	-27.5	16.3	35.1
σ_6	0	-5.8	-14.5	-20.9	28.2	0	0	3.3	18.2	0.6	3.6	-3.1	-17.4	-22.7	35.5	-26.5	14.5	21
σ_5	0	-0.3	0	2.2	0	0	0	0.5	0	0.1	0	-0.5	0	2.5	0	1.9	0	0
σ_4	-143.5	-5	-13.2	-21	25.7	0	0	2.5	16.6	0.5	3.3	-2.3	-15.9	-166.5	-111	-169.3	-130.2	19.2
σ_3	-140	-4.7	-12.8	-21.1	25	0	0	2.2	16.1	0.4	3.2	-2	-15.4	-163.2	-108.6	-165.6	-127.1	18.5
σ_2	0	0	0	-21.8	0.1	0	0	0	0	0	-0.1	0.1	0.4	-21.8	0	-21.7	0.5	0.4
σ_1	117.8	15.8	17.5	-24.3	-33.8	0	0	-19	-22	-3.9	-4.6	18.7	21.8	86.3	74.9	108.9	101.3	26.4
σ_0	122.4	16.2	18.1	-24.4	-34.9	0	0	-19.4	-22.7	-4	-4.7	19.1	22.5	90.8	78.2	113.8	105.4	27.2
τ_4	0	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0
τ_3	-9	-4.3	-3.9	-0.6	-0.5	0	0	0	0	-0.5	-0.4	-2.5	-2.2	-14.4	-14.4	-16.4	-16.4	2
τ_2	-13.1	-4.4	-4.5	-0.6	-0.6	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-18.5	-18.5	-20.6	-20.6	2
τ_1	-10.2	-3	-3.3	-0.4	-0.4	0	0	0	0	-0.3	-0.4	-1.6	-1.9	-13.9	-13.9	-15.2	-15.2	1.3
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.8 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.47 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.82 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.92 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.01E+1	-5.38E+5	-1.14E+7	1.78E+5
2a	-9.59E-4	-1.96E+5	-1.89E+6	8.4E+4
2b	1.3E+4	3.53E+4	2.98E+6	7.11E+3
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.36E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.27E+0	2.37E+6	-5.17E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.09E+4	7.99E+4	-1.95E+6	2.45E+4
3b max	4.48E+4	-2.44E+5	-2.15E+6	8.49E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	-0.5	0	2.1	0	0	0	0.9	0	-0.7	0	-0.8	0	1.8	0	1.7	0	0
σ_7	0	-7.1	-16.4	-23.2	25.9	0	0	4.6	20.5	-3.7	-16.5	-4.1	-18.3	-29.3	13.5	-29.7	11.8	4.3
σ_6	0	-5.8	-14.5	-23	23	0	0	3.3	18.2	-2.6	-14.6	-2.9	-16.2	-28.1	12	-28.3	10.5	1.5
σ_5	0	-0.3	0	2.1	0	0	0	0.5	0	-0.4	0	-0.4	0	1.9	0	1.8	0	0
σ_4	-143.5	-5	-13.2	-22.8	21	0	0	2.5	16.6	-1.9	-13.3	-2.1	-14.7	-170.7	-132.4	-170.9	-133.8	1.4
σ_3	-140	-4.7	-12.8	-22.7	20.3	0	0	2.2	16.1	-1.7	-12.9	-1.8	-14.3	-166.9	-129.3	-167.1	-130.7	1.4
σ_2	0	0	0	-21.8	0.1	0	0	0	0	0.1	0.3	0.1	0.3	-21.7	0.4	-21.7	0.4	0
σ_1	117.8	15.8	17.5	-18.7	-27.5	0	0	-19	-22	15.7	18.3	17.4	20.3	111.6	104.1	113.2	106	1.9

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_0	122.4	16.2	18.1	-18.6	-28.4	0	0	-19.4	-22.7	16	18.9	17.7	20.9	116.6	108.3	118.3	110.3	2
τ_4	0	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0	0	-0.2	-0.2	0.2
τ_3	-9	-4.3	-3.9	0.8	0.7	0	0	0	0	1.8	1.6	-5.5	-4.8	-10.8	-10.8	-18	-18	7.3
τ_2	-13.1	-4.4	-4.5	0.8	0.8	0	0	0	0	1.8	1.8	-5.5	-5.6	-14.9	-14.9	-22.2	-22.2	7.3
τ_1	-10.2	-3	-3.3	0.5	0.6	0	0	0	0	1.2	1.4	-3.6	-4.1	-11.5	-11.5	-16.2	-16.2	4.7
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.78 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.87 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.71 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.83 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.15 x 0.928 x 1 x 1 = 1.995 < 2 (Campata)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.45 x 0.928 x 1 x 1 = 2.273 (Campata)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Campata)
	Luce per il momento (m):	50
	Luce per il taglio (m):	20
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno per i pioli:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	38.21	92.593	0.413
Piattabanda inferiore	54.191	92.593	0.585
Anima	4.615	74.074	0.062
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c = 0.935 x 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	38.212	77.564	0.493
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = k_s * \Delta\sigma_c = 0.889 x 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	54.191	73.762	0.735
Attacco anima-piattabanda superiore	37.007	82.963	0.446

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Attacco anima-piattabanda inferiore	52.584	82.963	0.634
Attacco irrigidente verticale - anima	52.584	59.259	0.887
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	37.007	59.259	0.624
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	52.584	59.259	0.887
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	2.8	92.593	0.03
Piattabanda inferiore	3.953	92.593	0.043
Anima	16.66	74.074	0.225
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s \cdot \Delta\sigma_c$ $= 0.935 \times 112 = 104.7 \text{ N/mm}^2$	2.797	77.564	0.036
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s \cdot \Delta\sigma_c$ $= 0.889 \times 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	3.953	73.762	0.054
Attacco anima-piattabanda superiore	2.709	82.963	0.033
Attacco anima-piattabanda inferiore	3.836	82.963	0.046
Attacco irrigidente verticale - anima	3.836	59.259	0.065
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	2.709	59.259	0.046
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	3.836	59.259	0.065
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 \cdot 9.91 / (90 / 1.15) = 0.127$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 \cdot 38.21 / (80 / 1.35) = 0.645(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.127 + 0.645 = 0.771(*)$
VERIFICA SODDISFATTA	

(*) Verifica non significativa (Piattabanda superiore compressa)

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 \cdot 35.76 / (90 / 1.15) = 0.457$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 \cdot 2.8 / (80 / 1.35) = 0.047(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.457 + 0.047 = 0.504(*)$
VERIFICA SODDISFATTA	

(*) Verifica non significativa (Piattabanda superiore compressa)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

1.7 SEZIONE C5_22

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2300 mm
Piattabanda superiore	900x35 mm
Piattabanda inferiore	900x55 mm
Anima	18x2210 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5625x240 mm
Raccordo	700x60 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 30 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 220 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	T da un solo lato
Piatto 1	240x20 mm
Piatto 2	200x16 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.208E+5	2.182E+5	2.212E+5	2.033E+5	3.547E+5	1.385E+5
z _G (mm)	988.614	1652.927	1664.08	1592.358	1971.205	1176.417
J _y (mm ⁴)	1.158E+11	2.357E+11	2.377E+11	2.247E+11	2.938E+11	1.493E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1.172E+8	-1.426E+8	-1.428E+8	-1.411E+8	-1.49E+8	-1.269E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1.241E+8	-1.475E+8	-1.477E+8	-1.461E+8	-1.533E+8	-1.331E+8
W _{y,3} (mm ³)	9.075E+7	3.851E+8	3.956E+8	3.34E+8	10E+8	1.371E+8
W _{y,4} (mm ³)	8.833E+7	3.642E+8	3.738E+8	3.175E+8	8.935E+8	1.329E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	3.333E+8	3.416E+8	2.927E+8	7.556E+8	1.261E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	3.198E+8	3.275E+8	2.817E+8	7.015E+8	1.23E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2.687E+8	2.745E+8	2.396E+8	5.257E+8	1.103E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2.489E+8	2.54E+8	2.23E+8	4.672E+8	1.049E+8
S _{y,1} (mm ³)	4.758E+7	8.046E+7	8.101E+7	7.746E+7	9.621E+7	5.687E+7
S _{y,2} (mm ³)	5.542E+7	1.034E+8	1.043E+8	9.873E+7	1.293E+8	6.819E+7
S _{y,3} (mm ³)	4.076E+7	1.001E+8	1.011E+8	9.466E+7	1.285E+8	5.752E+7
S _{y,4} (mm ³)	-7.451E-9	8.024E+7	8.158E+7	7.292E+7	1.187E+8	2.268E+7
n _E	1E+300	16.924	16.314	20.809	6.242	1E+300

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	5.88E+1	4.4E+4	-1.73E+7	-1.4E+4
2a	-1.29E-3	1.77E+4	-3.58E+6	1.61E+4
2b	1.38E+4	2.13E+0	3.6E+6	-4.9E+3
Rit.Iso	-5.67E+6	0	-4.62E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-6.13E+3	-2.17E+0	-2.37E+6	1.94E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	9.43E+5	1.02E+5	-1.65E+7	-3.53E+4
Totale	-4.71E+6	1.64E+5	-4.07E+7	-3.62E+4

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

	<i>c/t</i>	<i>z_{pl}</i> (mm)	<i>α</i>	<i>ψ</i>	Classe
Anima	122.78	2279.25	-0.01	-1.11	1
Piattabanda superiore	12.6				1
Piattabanda inferiore	8.02				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-4.715E+6	M _{Ed} (Nm)	-4.074E+7	N _{Ed} (N)	-4.715E+6
N _{Rd} (N)	-7.187E+7	M _{Rd} (Nm)	-5.698E+7	M _{Ed} (Nm)	-4.074E+7
				M _{Rd} (Nm)	-5.845E+7
N _{Ed} /N _{Rd}	0.066	M _{Ed} /M _{Rd}	0.715	M _{Ed} /M _{Rd}	0.697

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	-0.8	0	2.4	0	0	0	0	-0.8	0	-5.2	0	-4.5	0.239
σ ₇	0	-13.3	-32.4	-29.3	32.8	0	0	0.3	-4.5	-21.5	-28.7	-142.5	-75.8	0.194
σ ₆	0	-11.2	-29.1	-28.7	29.4	0	0	0.3	-3.4	-19.3	-20.8	-127	-64.1	0.164
σ ₅	0	-0.6	0	2.4	0	0	0	0	-0.5	0	-3.1	0	-1.8	0.093
σ ₄	-196	-9.8	-26.9	-28.3	27.2	0	0	-195.7	-2.7	-17.9	-15.8	-117.1	-252.5	0.747
σ ₃	-190.7	-9.3	-26.1	-28.1	26.4	0	0	-190.5	-2.4	-17.3	-13.8	-113.2	-244.4	0.723
σ ₂	0	0	0	-25.6	0.1	0	0	0.1	0	0	2.7	6.8	-22.9	0.068
σ ₁	139.5	24.3	26.9	-18.6	-27	0	0	139.4	15.4	17.8	110	130.5	270.6	0.848
σ ₀	147.7	25.1	28.2	-18.4	-28.3	0	0	147.6	15.9	18.6	113.1	136.5	283.4	0.888

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.888 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.54 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.81 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -4.5 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.76 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=122.778 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.838 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 3.984E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.81, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=6.561$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=3.907E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=7.716E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.527, \quad \lambda_w=1.575, \quad \tau_{cr}=82.7, \quad C=1187$$

$$M_{Ed}=-4.074E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-4.32E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.943$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 9.318E+6 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 3.984E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.041, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

RELAZIONE DI CALCOLO - Viadotto Margi

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.042, \quad \eta_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.697$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	5.63E+1	9.7E+4	-1.66E+7	-3.1E+4
2a	-1.29E-3	1.77E+4	-3.57E+6	1.19E+4
2b	1.56E+4	4.24E+4	3.96E+6	-2.25E+4
Rit.Iso	-5.67E+6	0	-4.62E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	3.28E+2	2.73E+0	2.84E+6	-2.8E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	8.61E+5	8.28E+5	-1.2E+7	-2.14E+5
Totale	-4.79E+6	9.85E+5	-3E+7	-2.59E+5

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	122.78	2279.13	-0.01	-0.88	1
Piattabanda superiore	12.6				1
Piattabanda inferiore	8.02				1
classe della sezione					1

Analisi plastica: APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-4.789E+6	M _{Ed} (Nm)	-3.001E+7	N _{Ed} (N)	-4.789E+6
N _{Rd} (N)	-7.187E+7	M _{Rd} (Nm)	-5.698E+7	M _{Ed} (Nm)	-3.001E+7
				M _{Rd} (Nm)	-5.847E+7
N _{Ed} / N _{Rd}	0.067	M _{Ed} / M _{Rd}	0.527	M _{Ed} / M _{Rd}	0.513

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈	0	-0.8	0	2.5	0	0	0	0	1	0	-3.7	0	-1.1	0.06
σ ₇	0	-13.3	-32.4	-28	36	0	0	3.6	5.4	25.8	-20.4	-102.5	-56.2	0.144
σ ₆	0	-11.2	-29.1	-27.6	32.3	0	0	3.2	4.1	23.1	-14.7	-91.2	-49.4	0.126
σ ₅	0	-0.6	0	2.5	0	0	0	0	0.6	0	-2.2	0	0.3	0.017
σ ₄	-188.2	-9.8	-26.9	-27.3	29.9	0	0	-185.2	3.2	21.4	-11	-84	-233.2	0.69
σ ₃	-183.2	-9.3	-26.1	-27.2	29	0	0	-180.3	2.8	20.7	-9.6	-81.2	-226.4	0.67
σ ₂	0	0	0	-25.5	0.1	0	0	0.1	0	0	2.4	6.2	-23.1	0.068
σ ₁	134	24.2	26.8	-21	-29.6	0	0	131.2	-18.6	-21.4	80.6	96.2	199.2	0.624
σ ₀	141.9	25.1	28.2	-20.9	-31.1	0	0	139	-19.1	-22.4	82.9	100.7	209.8	0.658

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.69 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.62 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.88 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.12 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.33 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling
 $t_w/t_w=122.778 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 53.838$ Verifica a Shear Buckling: **NECESSARIA**

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 4.269E+6 N**

Essendo:

$a/h_w=1.81, \eta=1.2, K_\tau=6.561$
contributo anima: $V_{bw,Rd}=3.907E+6$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=3.619E+5$ N
 $\chi_w=0.527, \lambda_w=1.575, \tau_{cr}=82.7, C=1187$
 $M_{Ed}=-3.001E+7$ Nm, $M_{f,Rd}=-4.323E+7$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.694$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 9.318E+6 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 4.269E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.231, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.252, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.513$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.62E+1	3.26E+4	-1.36E+7	-1.04E+4
2a	-9.59E-4	1.31E+4	-2.65E+6	1.19E+4
2b	1.15E+4	1.78E+0	3E+6	-4.08E+3
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.85E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.81E+0	-1.98E+6	1.62E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	6.47E+5	7.57E+4	-1.22E+7	-2.6E+4
Totale	-4.07E+6	1.21E+5	-3.12E+7	-2.69E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_{id}	η_1
σ_8	0	-0.6	0	2	0	0	0	0	-0.7	0	-3.9	0	-3.2	3.2	0.161
σ_7	0	-9.9	-24	-24.4	27.3	0	0	3.3	-3.8	-17.9	-21.4	-105.9	-59.4	59.4	0.165
σ_6	0	-8.3	-21.5	-23.9	24.5	0	0	2.9	-2.8	-16.1	-15.6	-94.4	-50.6	50.6	0.14
σ_5	0	-0.5	0	2	0	0	0	0	-0.4	0	-2.3	0	-1.1	1.1	0.057
σ_4	-153.8	-7.3	-19.9	-23.6	22.7	0	0	-151	-2.2	-14.9	-11.8	-87.1	-198.7	198.7	0.56
σ_3	-149.7	-6.9	-19.3	-23.4	22	0	0	-147	-2	-14.4	-10.4	-84.2	-192.4	192.4	0.542
σ_2	0	0	0	-21.3	0.1	0	0	0.1	0	0	1.8	4.7	-19.5	20.2	0.057

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_1	109.5	18	19.9	-15.5	-22.5	0	0	106.9	12.9	14.8	81.3	96.2	206.1	206.2	0.615
σ_0	115.9	18.6	20.9	-15.3	-23.6	0	0	113.2	13.2	15.5	83.6	100.7	216	216	0.645
τ_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
τ_3	0.6	0.3	0.3	0	0	0	0	0.9	0	0	1.8	1.6	2.8		
τ_2	0.9	0.3	0.3	0	0	0	0	1.2	0	0	1.9	1.9	3		
τ_1	0.7	0.2	0.3	0	0	0	0	1	0	0	1.4	1.6	2.4		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.645 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.36 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.57 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.21 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.14 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Verifica a stato limite delle tensioni (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.62E+1	3.26E+4	-1.36E+7	-1.04E+4
2a	-9.59E-4	1.31E+4	-2.65E+6	1.19E+4
2b	1.3E+4	3.53E+4	3.3E+6	-1.88E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.85E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.28E+0	2.37E+6	-2.33E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	5.86E+5	6.13E+5	-8.87E+6	-1.59E+5
Totale	-4.12E+6	6.94E+5	-2.33E+7	-1.78E+5

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	σ_d	η_1
σ_8	0	-0.6	0	2.1	0	0	0	0	0.8	0	-2.8	0	-0.5	0.5	0.027
σ_7	0	-9.9	-24	-23.3	30	0	0	6	4.5	21.5	-15.2	-76.2	-43.9	43.9	0.122
σ_6	0	-8.3	-21.5	-23	26.9	0	0	5.4	3.4	19.3	-11	-67.9	-38.9	38.9	0.108
σ_5	0	-0.5	0	2.1	0	0	0	0	0.5	0	-1.6	0	0.5	0.5	0.026
σ_4	-153.8	-7.3	-19.9	-22.8	24.9	0	0	-148.8	2.7	17.8	-8.3	-62.6	-189.4	189.4	0.534
σ_3	-149.7	-6.9	-19.3	-22.7	24.1	0	0	-144.8	2.4	17.3	-7.2	-60.5	-184.1	186.3	0.525
σ_2	0	0	0	-21.3	0.1	0	0	0.1	0	0	1.7	4.2	-19.6	35.4	0.1
σ_1	109.5	18	19.9	-17.5	-24.7	0	0	104.7	-15.5	-17.8	59.5	70.9	154	155.6	0.464
σ_0	115.9	18.6	20.9	-17.4	-25.9	0	0	110.9	-15.9	-18.7	61.2	74.2	162.4	162.4	0.485
τ_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0.3		
τ_3	0.6	0.3	0.3	0.8	0.8	0	0	1.7	0	0	14.9	13.1	16.7		
τ_2	0.9	0.3	0.3	0.9	0.9	0	0	2.1	0	0	15	15.6	17		
τ_1	0.7	0.2	0.3	0.7	0.7	0	0	1.8	0	0	11.2	13	12.8		
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.534 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.43 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.62 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.54 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.51 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.62E+1	3.26E+4	-1.36E+7	-1.04E+4
2a	-9.59E-4	1.31E+4	-2.65E+6	1.19E+4
2b	1.15E+4	1.78E+0	3E+6	-4.08E+3
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.85E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	-5.11E+3	-1.81E+0	-1.98E+6	1.62E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.03E+5	4.9E+4	-7.21E+6	-1.36E+4
Totale	-4.61E+6	9.47E+4	-2.63E+7	-1.45E+4

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	-0.6	0	2	0	0	0	0	-0.7	0	-2.4	0	-1.8
σ_7	0	-9.9	-24.7	-24.9	28.1	0	0	3.4	-3.8	-18.5	-13.4	-66.5	-51.9
σ_6	0	-8.3	-22.2	-24.4	25.2	0	0	3	-2.8	-16.6	-9.9	-59.6	-45.5
σ_5	0	-0.5	0	2	0	0	0	0	-0.4	0	-1.5	0	-0.4
σ_4	-161.9	-7.3	-20.6	-24.1	23.4	0	0	-159.1	-2.2	-15.4	-7.7	-55.2	-203.3
σ_3	-157.7	-6.9	-19.9	-24	22.7	0	0	-155	-2	-14.9	-6.9	-53.5	-197.4
σ_2	0	0	0	-21.8	0.1	0	0	0.1	0	0	0.3	0.8	-21.5
σ_1	108.5	17.9	19.8	-16	-22.3	0	0	106	12.9	14.7	47.5	54.5	170.9
σ_0	115.2	18.6	20.7	-15.8	-23.4	0	0	112.5	13.3	15.4	48.8	57.2	180.1

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.32 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.54 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.77 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.35 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Mmin)

	Anima
b (mm)	2210
σ_{sup} (N/mm ²)	-196.73
σ_{inf} (N/mm ²)	171.04
σ_{Ed} (N/mm ²)	196.73
K_{σ}	20.67
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.6
τ_{Ed} (N/mm ²)	2.13
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	260.55
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	3.84
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	260.55
K_{τ}	6.56
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.756
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

SLE: Verifica a web breathing (Comb. Vmax)

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.62E+1	3.26E+4	-1.36E+7	-1.04E+4
2a	-9.59E-4	1.31E+4	-2.65E+6	1.19E+4
2b	1.3E+4	3.53E+4	3.3E+6	-1.88E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.85E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.28E+0	2.37E+6	-2.33E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	7.79E+4	3.84E+5	-5.78E+6	-8.09E+4
Totale	-4.63E+6	4.65E+5	-2.02E+7	-1E+5

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot
σ_8	0	-0.6	0	2	0	0	0	0	0.8	0	-1.9	0	0
σ_7	0	-9.9	-24.9	-24	31.1	0	0	6.2	4.5	22.2	-10.7	-53.6	-25.2
σ_6	0	-8.3	-22.3	-23.7	27.9	0	0	5.6	3.3	20	-7.9	-48.1	-22.6
σ_5	0	-0.5	0	2.1	0	0	0	0	0.5	0	-1.2	0	0
σ_4	-164.2	-7.3	-20.7	-23.5	25.9	0	0	-159	2.6	18.5	-6.2	-44.6	-185.1
σ_3	-160	-6.9	-20.1	-23.4	25.1	0	0	-154.9	2.3	18	-5.5	-43.2	-180.2
σ_2	0	0	0	-22	0.1	0	0	0.1	0	0	0.2	0.6	0.7
σ_1	108	18	19.7	-18.2	-24.4	0	0	103.3	-15.5	-17.6	38.1	43.6	129.2
σ_0	114.7	18.6	20.7	-18	-25.7	0	0	109.7	-16	-18.5	39.2	45.7	136.9

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.39 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.58 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.26 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.9 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Verifica dell'intera anima (Comb. Vmax)

	Anima
b (mm)	2210
σ_{sup} (N/mm ²)	-179.38
σ_{inf} (N/mm ²)	129.46
σ_{Ed} (N/mm ²)	179.38
K_{σ}	17.44
σ_{cr0E} (N/mm ²)	12.6
τ_{Ed} (N/mm ²)	10.55
σ_{cr} (P) (N/mm ²)	219.86
σ_{cr} (C) (N/mm ²)	3.84
ξ	1
σ_{cr} (N/mm ²)	219.86
K_{τ}	6.56
$K_{\tau sl}$	0
Coefficienti di utilizzo	0.828
Esito	VERIFICA SODDISFATTA

Verifica connessione trave soletta

Caratteristiche generali

Numero di pioli per unita' di lunghezza, n (m ⁻¹)	15
Diametro dei pioli, d (mm)	19

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Altezza dei pioli, h (mm)	220
Resistenza ultima dei pioli, α	1
Coefficiente di sicurezza parziale, γ_v	1.25
Resistenza ultima dei pioli, f_u (N/mm ²)	450
Coefficiente E_{cm} (N/mm ²)	33643
Resistenza caratteristica cilindrica, f_{ck} (N/mm ²)	33.2

Resistenza della connessione

Resistenza a taglio del piolo, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 \gamma_v$, (N)	81656.28
Resistenza per schiacciamento del calcestruzzo, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$, (N)	88513.63
Resistenza di progetto del piolo $P_{Rd} = \text{Min}(P_{Rd1}, P_{Rd2})$, (N)	81656.28

Verifica elastica allo SLU

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmax)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1224.8
Fattore di riduzione, κ_s	1.00
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	354.9
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.29
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmax)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	1.769E+4	8.024E+7	2.357E+11	6
Fase 2b	4.235E+4	8.158E+7	2.377E+11	14.5
Fase 2c	0E+00	7.292E+7	2.247E+11	0
Fase 3a	2.73E+0	1.187E+8	2.938E+11	0
Fase 3b	8.276E+5	1.187E+8	2.938E+11	334.3
Totale				354.9

Verifica elastica allo SLE

Coefficiente di utilizzo (Comb. Vmax)

Resistenza di progetto per unita' di lunghezza, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	734.9
Fattore di riduzione, κ_s	0.6
Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo v_{Ed} (N/mm)	264.2
Coefficiente di utilizzo v_{Ed} / v_{Rd}	0.36
VERIFICA SODDISFATTA	

Flusso di taglio all'interfaccia acciaio calcestruzzo (Comb. Vmax)

Fase	V_{Ed} (N)	$S_{y,4}$ (mm ³)	J_y (mm ⁴)	V_{Ed} (N/mm)
Fase 2a	1.31E+4	8.024E+7	2.357E+11	4.5
Fase 2b	3.529E+4	8.158E+7	2.377E+11	12.1
Fase 2c	0E+00	7.292E+7	2.247E+11	0
Fase 3a	2.275E+0	1.187E+8	2.938E+11	0
Fase 3b	6.13E+5	1.187E+8	2.938E+11	247.6
Totale				264.2

Verifiche allo stato limite di fatica

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.62E+1	3.26E+4	-1.36E+7	-1.04E+4
2a	-9.59E-4	1.31E+4	-2.65E+6	1.19E+4
2b	1.45E+4	2.25E+0	3.58E+6	-4.18E+3
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.85E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.28E+0	2.37E+6	-2.33E+3

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	-7.07E+3	2.02E+4	2.95E+5	-1.08E+4
3b max	5.53E+4	-3.77E+4	-2.73E+6	-5.44E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	-0.6	0	2.1	0	0	0	0.8	0	0.1	0	-0.9	0	2.4	0	1.4	0	0
σ_7	0	-9.9	-24	-22.3	32.6	0	0	4.5	21.5	0.5	2.6	-5	-24.4	-27.1	32.7	-32.7	5.7	54
σ_6	0	-8.3	-21.5	-22.1	29.2	0	0	3.4	19.3	0.4	2.3	-3.7	-21.8	-26.6	29.3	-30.8	5.1	24.2
σ_5	0	-0.5	0	2.1	0	0	0	0.5	0	0.1	0	-0.6	0	2.2	0	1.6	0	0
σ_4	-153.8	-7.3	-19.9	-22	27.1	0	0	2.7	17.8	0.3	2.2	-2.9	-20.2	-180.1	126.6	-183.3	-149	22.3
σ_3	-149.7	-6.9	-19.3	-22	26.2	0	0	2.4	17.3	0.3	2.1	-2.6	-19.5	-175.9	123.4	-178.7	-145	21.6
σ_2	0	0	0	-21.3	0.1	0	0	0	0	0	-0.1	0.2	0.4	-21.3	0.1	-21.1	0.5	0.5
σ_1	109.5	18	19.9	-19.4	-26.8	0	0	-15.5	-17.8	-1.9	-2.3	18	20.9	90.6	82.5	110.5	105.7	23.2
σ_0	115.9	18.6	20.9	-19.4	-28.1	0	0	-15.9	-18.7	-2	-2.4	18.5	21.9	97.2	87.6	117.7	112	24.3
τ_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
τ_3	0.6	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0.5	0.4	-0.9	-0.8	1.4	1.4	0	0	1.4
τ_2	0.9	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	-0.9	-1	1.7	1.7	0.3	0.3	1.4
τ_1	0.7	0.2	0.3	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	-0.7	-0.8	1.4	1.4	0.3	0.3	1.1
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.41 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 2.24 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.4 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.62 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Sollecitazioni per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	4.62E+1	3.26E+4	-1.36E+7	-1.04E+4
2a	-9.59E-4	1.31E+4	-2.65E+6	1.19E+4
2b	1.3E+4	3.53E+4	3.3E+6	-1.88E+4
Rit.Iso	-4.72E+6	0	-3.85E+6	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	2.73E+2	2.28E+0	2.37E+6	-2.33E+3
Term.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	5.02E+4	1.65E+5	-2.53E+6	-4.79E+4
3b max	4.9E+4	-1.61E+5	-2.46E+6	4.41E+4

Tensioni normali sulla sezione lorda per dettagli di carpenteria e pioli (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess. Max	F. 3b Fess. Max	F. 3b Non Fess. Min	F. 3b Fess. Min	Totale Non Fess. Max	Totale Fess. Max	Totale Non Fess. Min	Totale Fess. Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
σ_8	0	-0.6	0	2.1	0	0	0	0.8	0	-0.8	0	-0.8	0	1.4	0	1.4	0	0
σ_7	0	-9.9	-24	-23.3	30	0	0	4.5	21.5	-4.7	-22.6	-4.5	-22	-33.3	4.9	-33.2	5.5	4.3
σ_6	0	-8.3	-21.5	-23	26.9	0	0	3.4	19.3	-3.5	-20.2	-3.4	-19.7	-31.3	4.5	-31.3	5	0.5
σ_5	0	-0.5	0	2.1	0	0	0	0.5	0	-0.5	0	-0.5	0	1.6	0	1.6	0	0
σ_4	-153.8	-7.3	-19.9	-22.8	24.9	0	0	2.7	17.8	-2.7	-18.7	-2.6	-18.2	-183.9	149.6	-183.8	-149.1	0.5
σ_3	-149.7	-6.9	-19.3	-22.7	24.1	0	0	2.4	17.3	-2.4	-18.1	-2.3	-17.6	-179.3	145.6	-179.2	-145.2	0.5
σ_2	0	0	0	-21.3	0.1	0	0	0	0	0.1	0.4	0.1	0.4	-21.1	0.5	-21.1	0.5	0
σ_1	109.5	18	19.9	-17.5	-24.7	0	0	-15.5	-17.8	16.6	19.3	16.2	18.9	111.1	106.2	110.6	105.7	0.5

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

σ_0	115.9	18.6	20.9	-17.4	-25.9	0	0	-15.9	-18.7	17.1	20.3	16.7	19.8	118.3	112.5	117.9	112	0.5
τ_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	-0.1	0	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.1
τ_3	0.6	0.3	0.3	0.8	0.8	0	0	0	0	4	3.5	-3.9	-3.5	5.8	5.8	-2.1	-2.1	7.9
τ_2	0.9	0.3	0.3	0.9	0.9	0	0	0	0	4	4.2	-3.9	-4.1	6.1	6.1	-1.9	-1.9	8
τ_1	0.7	0.2	0.3	0.7	0.7	0	0	0	0	3	3.5	-2.9	-3.4	4.7	4.7	-1.3	-1.3	5.9
τ_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.4 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 max = 1.61 N/mm²
La sezione a fine fase 3 max e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.42 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 min = 1.63 N/mm²
La sezione a fine fase 3 min e' stata considerata: Fessurata (m.)

Dati di calcolo per i coefficienti di sicurezza e i fattori equivalenti di danno

Coefficienti parziali di sicurezza per la carpenteria:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.35
Fattore equivalente di danno per flessione per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.9 x 0.928 x 1 x 1 = 1.763 < 2.16 (Appoggio)
Fattore equivalente di danno per taglio per la carpenteria:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.6 x 0.928 x 1 x 1 = 1.485 (Appoggio)
Dati per il calcolo di λ_1	Collocazione della sezione:	(Appoggio)
	Luce per il momento (m):	50
	Luce per il taglio (m):	20
Dati per il calcolo di λ_2, λ_{v2}	Q_0 (kN)	480
	N_0	500000
	N_{obs}	500000
	Q_{ml} (kN)	0
	Categoria di traffico (Table 4.5n - EN 1991-2):	Roads and motorways with medium flow rates of lorries
	Distribuzione del traffico (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Long distance (20% Q1, 5% Q2, 50% Q3, 15% Q4, 10% Q5)
Dati per il calcolo di λ_3, λ_{v3}	Vita di progetto in anni:	100
Dati per il calcolo di γ_{Mf} per la carpenteria:	Metodo di verifica:	Safe life
	Conseguenza del danno:	High consequence
Fattore equivalente di danno per i pioli:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.953 x 1 x 1 = 1.477
Coefficienti parziali di sicurezza per i pioli:	γ_{Ff}	1
	γ_{Mf}	1.15

Verifica a fatica dei dettagli di carpenteria

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$	$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	39.39	92.593	0.425
Piattabanda inferiore	42.87	92.593	0.463
Anima	2.102	74.074	0.028
Giunzione piattabanda superiore $\Delta \sigma_{c,red} = k_s * \Delta \sigma_c = 1 x 112 = 112 \text{ N/mm}^2$	39.391	82.963	0.475
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta \sigma_{c,red} = k_s * \Delta \sigma_c = 0.889 x 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	42.87	73.762	0.581
Attacco anima-piattabanda superiore	38.139	82.963	0.46

RELAZIONE DI CALCOLO – Viadotto Margi

Attacco anima-piattabanda inferiore	40.903	82.963	0.493
Attacco irrigidente verticale - anima	40.903	59.259	0.69
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	38.139	59.259	0.644
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	40.903	59.259	0.69
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	c.u.
Piattabanda superiore	0.84	92.593	0.009
Piattabanda inferiore	0.912	92.593	0.01
Anima	11.852	74.074	0.16
Giunzione piattabanda superiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s \cdot \Delta\sigma_c = 1 \times 112 = 112 \text{ N/mm}^2$	0.842	82.963	0.01
Giunzione piattabanda inferiore $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s \cdot \Delta\sigma_c = 0.889 \times 112 = 99.6 \text{ N/mm}^2$	0.912	73.762	0.012
Attacco anima-piattabanda superiore	0.815	82.963	0.01
Attacco anima-piattabanda inferiore	0.87	82.963	0.01
Attacco irrigidente verticale - anima	0.87	59.259	0.015
Attacco irrigidente verticale - piattabanda superiore	0.815	59.259	0.014
Attacco irrigidente verticale - piattabanda inferiore	0.87	59.259	0.015
Attacco irrigidente longitudinale 1 - anima			
Attacco irrigidente longitudinale 2 - anima			

Verifica a fatica dei pioli

Coefficienti di utilizzo (Comb. Mmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 \cdot 8.12 / (90 / 1.15) = 0.104$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 \cdot 39.39 / (80 / 1.35) = 0.665(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.104 + 0.665 = 0.769(*)$
VERIFICA SODDISFATTA	

(*) Verifica non significativa (Piattabanda superiore compressa)

Coefficienti di utilizzo (Comb. Vmax)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 \cdot 45.82 / (90 / 1.15) = 0.585$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 \cdot 0.84 / (80 / 1.35) = 0.014(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0.585 + 0.014 = 0.6(*)$
VERIFICA SODDISFATTA	

(*) Verifica non significativa (Piattabanda superiore compressa)