

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.**

CUP: J14D20000010001

**U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA  
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA  
NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST**

SL - SCATOLARI  
SL01 - Prolungamento sottopasso di Via Albere Sud  
Relazione di calcolo impalcato interno

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 1 A 2 0 D 2 6 C L S L 0 1 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	V. Reale	Gen. 2022	M. Rigo	Gen. 2022	C. Mazzocchi	Gen. 2022	A. Perego Gen. 2022

File: IN1A20D26CLSL0100003A

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	6
2.1	SOVRASTRUTTURA D'IMPALCATO .....	8
2.2	DISPOSITIVI DI VINCOLO .....	9
2.3	CONTESTUALIZZAZIONE DELL'OPERA E PARAMETRI CARATTERISTICI .....	9
2.3.1	<i>Vita nominale</i> .....	9
2.3.2	<i>Sismica</i> .....	9
2.3.3	<i>Parametri linea</i> .....	10
3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	11
3.1	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	11
3.2	RIFERIMENTI DI PROGETTO .....	12
4	MATERIALI .....	12
4.1	CALCESTRUZZO .....	12
4.1.1	<i>Classi di resistenza e di esposizione</i> .....	12
4.1.2	<i>Copriferri</i> .....	12
4.2	ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO .....	12
4.3	ACCIAIO DA CARPENTERIA .....	13
5	MODALITÀ DI CALCOLO E CONVENZIONI .....	13
5.1	SOFTWARE IMPIEGATO .....	13
5.2	MODALITÀ DI CALCOLO E VERIFICA .....	13
5.3	CONVENZIONI.....	13
6	IMPALCATO.....	14
6.1	MODALITÀ GENERALI DI CALCOLO E VERIFICA.....	14
6.1.1	<i>Implementazione condizioni di carico</i> .....	17

6.1.2	Carichi variabili da traffico ( $Q_k$ ) .....	18
6.1.3	Azioni associate ai carichi mobili .....	20
6.1.4	Sismica .....	21
6.1.5	Combinazioni di carico .....	21
6.1.6	Verifiche .....	22
6.1.7	Esportazione delle sollecitazioni insistenti sulle spalle .....	23
6.2	ANALISI DEI CARICHI .....	25
6.2.1	Pesi propri ( $g_k$ ) .....	25
6.2.2	Sovraccarichi permanenti .....	26
6.2.3	Azioni da traffico ( $Q_k$ ) .....	27
6.2.4	Sovraccarico sui marciapiedi ( $q_f$ ) .....	38
6.2.5	Azioni del vento ( $F_w$ ) .....	38
6.2.6	Variazioni termiche ( $T_k$ ) .....	42
6.2.7	Azioni sismiche ( $E$ ) .....	42
6.2.8	Azioni eccezionali .....	46
6.2.9	Combinazioni di carico .....	47
6.3	ANALISI STRUTTURALE IMPALCATO .....	49
6.3.1	Modellazione F.E.M. .....	49
6.3.2	Principali risultati .....	54
6.4	VERIFICHE STRUTTURALI IMPALCATO .....	86
6.4.1	Verifica travi metalliche .....	86
6.4.2	Verifica solettone in c.a. in direzione trasversale .....	89
6.5	VERIFICHE PER COMBINAZIONI ECCEZIONALI .....	96
6.5.1	Deragliamenti .....	96
6.6	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ .....	97
6.6.1	Frecce verticali .....	97

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	4 di 113

6.7	DISPOSITIVI DI VINCOLO .....	98
6.7.1	<i>Portate</i> .....	99
6.7.2	<i>Escursioni appoggi</i> .....	109
6.7.3	<i>Rotazioni agli appoggi</i> .....	110
6.8	GIUNTI E VARCHI .....	111
6.8.1	<i>Escursione giunti</i> .....	111
6.8.2	<i>Ampiezza minima varco giunti</i> .....	113
7	INCIDENZE .....	113

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la progettazione definitiva di opere strutturali relative all'Ingresso Est al Nodo AV/AC di Verona Porta Nuova della Tratta AV/AC Brescia-Verona.

L'intervento prevede la realizzazione delle nuove linee, prevalentemente in affiancamento al sedime della attuale Linea Storica Milano-Venezia, nel tratto compreso tra l'uscita dell'Autostrada Verona Nord e la radice est della Stazione Ferroviaria di Verona Porta Vescovo, per una estensione di circa 9.7 km dall'inizio dello Scalo Cason alla fine della linea AV/AC. Tali interventi sono funzionali al progetto di linea della Tratta Brescia Est – Verona.

- MODIFICA DI TRACCIATO DELLE LINEE MI-VE STORICA E VR-BRENNERO
- LINEA AV/AC MILANO-VENEZIA
- NUOVO SCALO IN LOCALITA' CASON
- RACCORDO BIVIO S.MASSIMO – VERONA P.N.
- RACCORDO Q.E. – VERONA P.N.
- INTERVENTI NELL'AMBITO DI VERONA PORTA NUOVA
- INTERVENTI NELL'AMBITO DI VERONA PORTA VESCOVO

Sono previsti interventi di potenziamento e riconfigurazione della stazione di Verona Porta Nuova e Verona Porta Vescovo. Il progetto comprende tutte le opere atte a consentire l'allaccio e l'interfaccia con le linee storiche esistenti e la risoluzione delle interferenze tra la parte di progetto stesso e l'esistente (viabilità, idrografia, ecc).

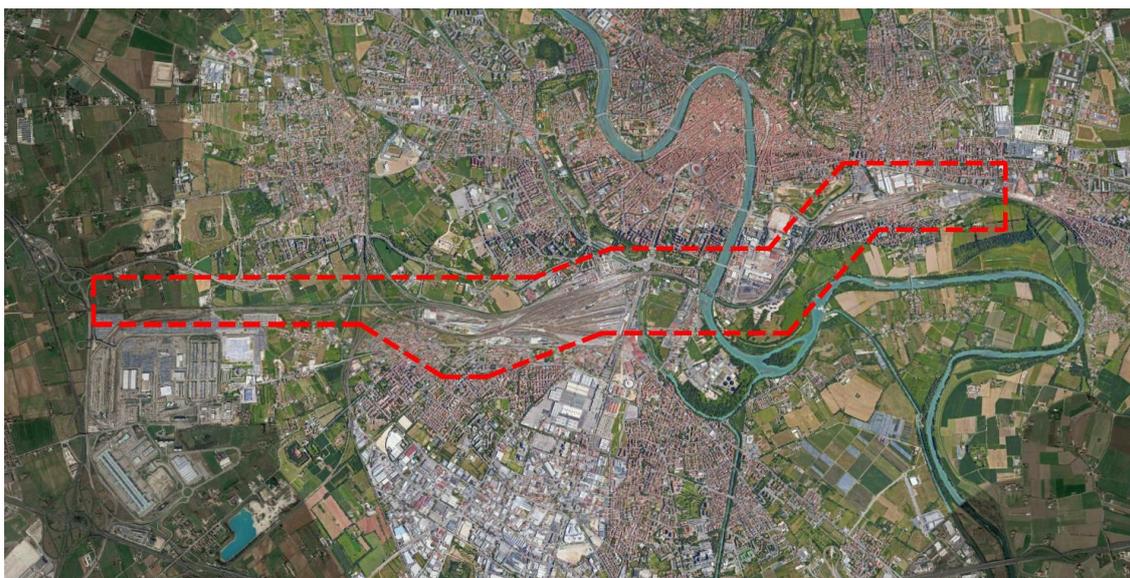


Figura 1.1 Vista aerea della tratta

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il progetto prevede la realizzazione di un ponte a travi incorporate necessario alla risoluzione dell'interferenza della nuova linea AV/AC con Via Albere Sud.

Nell'intorno del centro di riparazione treni IMC di Verona S. Lucia, è ubicata l'attuale opera di sottovia della linea storica lungo via Albere Sud, realizzata con due impalcati a travi incorporate su cui sono alloggiati rispettivamente 4 e 2 binari.

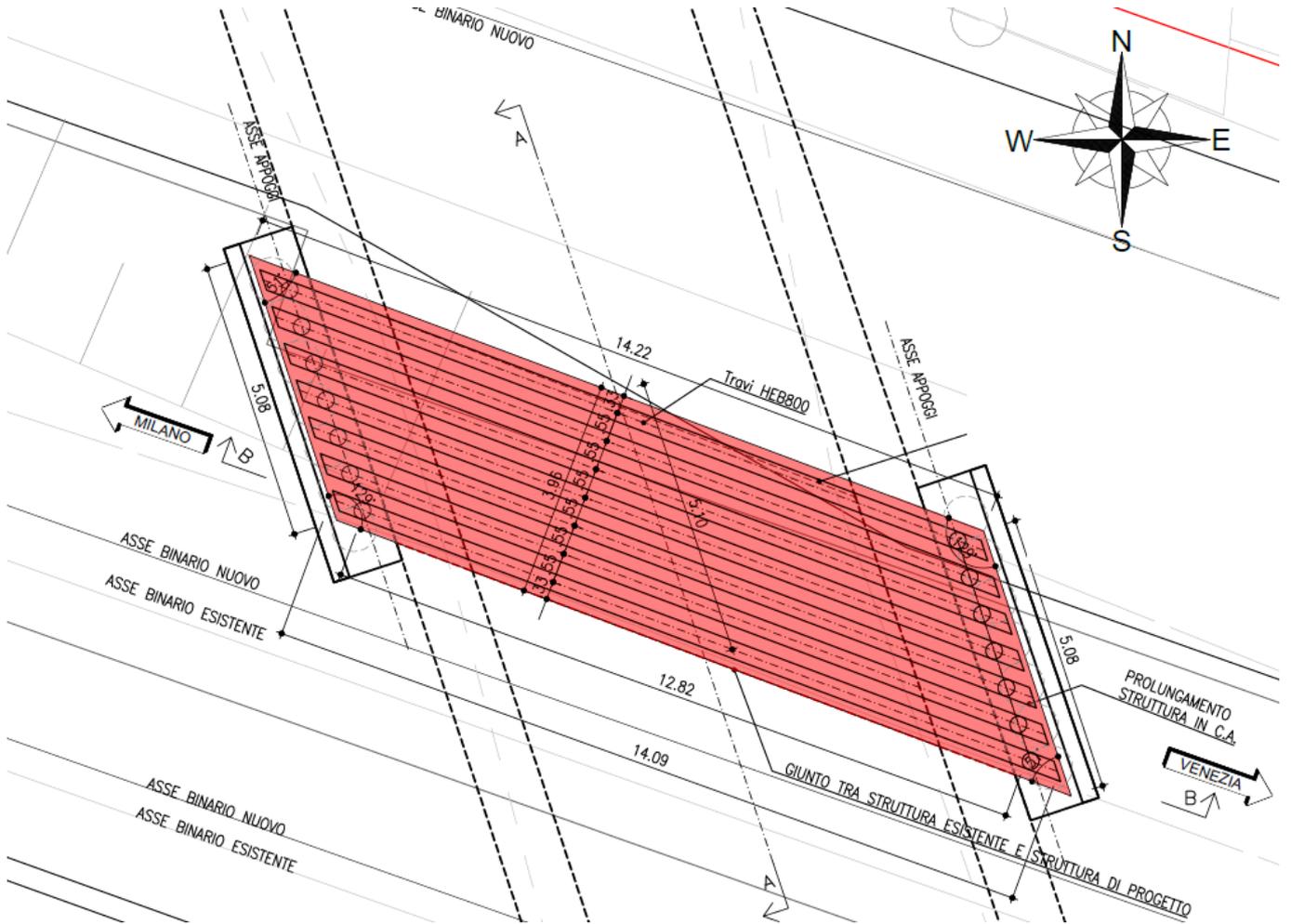
L'opera si presenta in obliquo rispetto alla linea con una inclinazione di circa 38°.



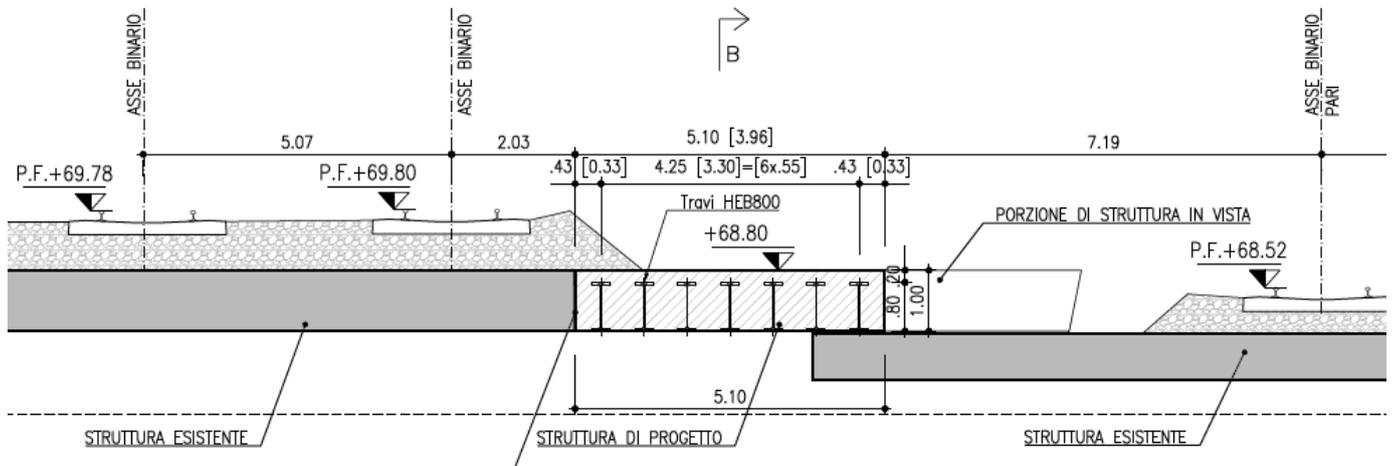
**Figura 2.1 Vista aerea dell'opera**

L'intervento in progetto è collocato in corrispondenza della progressiva chilometrica 154+705 della linea AC/AV.

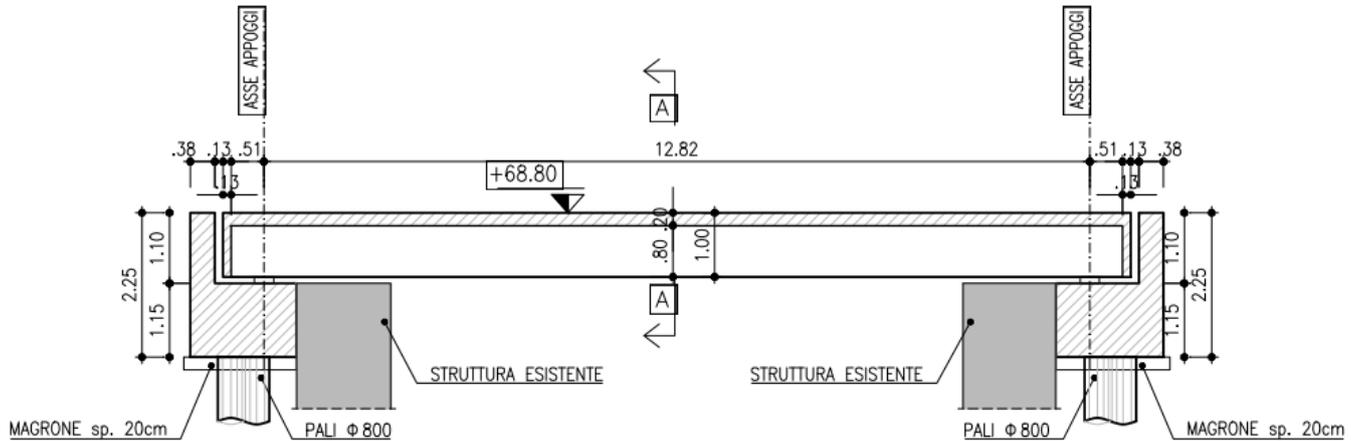
Si tratta di un ponte disposto a fra i due impalcati dell'interferenza attuale del tracciato della linea ferroviaria con Via Albere Sud. La quota di realizzazione dell'impalcato è in affiancamento al vecchio impalcato di cui viene a costituire un allargamento.



**Figura 2.2 Planimetria stato di progetto**



**Figura 2.3 Sezione trasversale stato di progetto**


**Figura 2.4 Sezione longitudinale stato di progetto**

In particolare, l'attraversamento della linea ad Alta Capacità verrà realizzato con un impalcato a travi incorporate.

Si prevede che l'impalcato appoggi su spalle in c.a. con fondazioni costituite da pali.

La presente relazione riporta i calcoli statici della sovrastruttura di impalcato, apparecchiature di vincolo incluse, inerenti alla fase di progettazione definitiva.

## 2.1 Sovrastruttura d'impalcato

La sovrastruttura d'impalcato è costituita da un solettone in c.a. a travi incorporate, con luce libera tra gli appoggi in asse binario pari a 12.82 m circa e larghezza in direzione ortogonale all'asse travata pari a 3.96 m. Tale larghezza consente l'allargamento della sede ferroviaria a lato dei binari ed è dimensionata per sopportare comunque anch'essa un eventuale futuro binario. I parametri identificativi del solettone (spessore c.a. e travi), sono riconducibili a quelli suggeriti dal MdP, cap. 2.9, avendo previsto:

Travi metalliche principali: n. 7 profili tipo HEB800

Interasse travi metalliche: 0.55 m

Spessore minimo soletta: 1.00 m

Portata teorica (m)	Profilo	n. di travi	interasse (cm)	Hmax (cm)	h. travi (cm)	d. p.f.-s.trave (cm)	peso travi (daN/ml)
12.50 < L ≤ 13	HEA 800	9	57,7	91	79	174,3	2016
	HEB 700	10	51,3	82	70	165,3	2410
	HEM 650	11	46,2	78,8	66,8	162,1	3223

**Tabella 2.1 - stralcio MdP, TAB. 2**

Il retrotrave presenta una lunghezza complessiva in retto pari a 0.50 m.

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

## 2.2 Dispositivi di vincolo

Data la limitata luce del ponte e l'elevato numero di travi, per il sistema di vincolo si opta verso una soluzione atta a favorire la distribuzione delle sollecitazioni sui vari dispositivi, basata sull'adozione di dispositivi elastomerici che, secondo le indicazioni del MdP risulteranno dotati di piastre metalliche superiore ed inferiore, vulcanizzate al cuscinetto elastomerico, atte a vincolare meccanicamente il dispositivo alla sovrastruttura ed alla sottostruttura.

Le caratteristiche di massima dei dispositivi (dimensioni, ingombro e rigidezza) sono state dedotte dal catalogo della produzione di uno dei maggiori produttori nazionali, e sono le seguenti:

Dimensione cuscinetto (diam. in mm)	400
Rigidezza orizzontale (kN/mm)	1.9
Spessore totale (mm)	84

**Tabella 2.2 Caratteristiche dispositivi di vincolo**

Nei successivi paragrafi verrà completata l'identificazione dei dispositivi, fornendo i dati inerenti le portate orizzontali e verticali.

## 2.3 Contestualizzazione dell'opera e parametri caratteristici

### 2.3.1 Vita nominale

L'opera ricade nell'ambito di una linea ferroviaria esistente.

Per quanto riguarda i parametri caratteristici, rilevanti ai fini della valutazione delle azioni ambientali (sisma, vento, etc.), si farà quindi riferimento ai seguenti dati identificativi:

V<sub>n</sub>: 50 anni vita nominale dell'opera

Classe d'uso: IV

Cu: 2

V<sub>r</sub> = 100 anni vita di riferimento

### 2.3.2 Sismica

Ai fini della valutazione dei parametri sismici, si farà riferimento alle seguenti coordinate identificative dell'ubicazione dell'opera:

**Latitudine:** 45.42546

**Longitudine:** 10.95702

La vita di riferimento di 100 anni verrà considerata per la valutazione delle azioni sismiche e di quelle del vento.



**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA**  
**LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA**  
**NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST**

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	10 di 113

Ulteriori dettagli inerenti la valutazione delle azioni sismiche (spettri di risposta) e del vento, sono riportati nei capitoli a seguire.

### 2.3.3 Parametri linea

Per quanto riguarda i parametri d'uso della linea, si considererà, inoltre, una velocità di progetto pari:

$$V = 100 \text{ km/h}$$

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

### 3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Riferimenti normativi

Le analisi strutturali e le relative verifiche vengono eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni normative previste dalla normativa italiana (NTC2018) ed in osservanza con i criteri aggiuntivi contenuti nella documentazione di riferimento RFI, in particolare il complesso dei manuali facente parte del manuale di progettazione, versione 2020 (cfr. dettaglio), nel prosieguo denominato, nei riferimenti “MDP”. Si è inoltre fatto riferimento, quando pertinente, alle disposizioni contenute nella normativa europea (Eurocodici), curando l’implementazione in osservanza alle prescrizioni contenute nei relativi NAD’s (National Application Documents).

In dettaglio si sono presi in esame quindi i seguenti documenti, che volta in volta verranno opportunamente richiamati:

D.M. 17.01.2018:	Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC")
Circ, Min LLPP n.7/2019:	Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D. Min. 17 gennaio 2018
D.M. 31.07.2012	Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici
RFI DTC SI PS MA IFS 001 E:	Manuale di progettazione delle opere civili . Parte II – sez. 2 “Ponti e strutture”.
UNI 11104:	“Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”;
UNI EN 206-1:2014:	“Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
CEB-FIP Model Code 1990,	Thomas Telford, London 1993
Norma UNI EN 10025 – 2005 –	“Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali;
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

### 3.2 Riferimenti di progetto

Progetto preliminare Linea AV/AC Milano Venezia- Nodo AV/AC di Verona: Ingresso EST

Relazione sulle indagini geognostiche RFI DTC ICI PO SC 08 17 1684-VR0-1-OA-62 RB-01

## 4 MATERIALI

### 4.1 Calcestruzzo

#### 4.1.1 Classi di resistenza e di esposizione

Si prevede l'adozione dei seguenti materiali, qui di seguito identificati attraverso la relativa classe di resistenza e di esposizione.

Elemento	classe resistenza	classe esposizione
Solettone	C32/40	XC4

**Tabella 4.1 Calcestruzzo**

#### 4.1.2 Copriferri

I copriferri sono determinati sulla base della classe di esposizione, seguendo i criteri contenuti in NTC2018 / EN 1992-1-1, unitamente alle prescrizioni aggiuntive contenute in MdP 2.5.22.3.2., che prevedono un incremento di 10 mm per gli elementi posti in ambiente aggressivo.

Per i vari elementi strutturali, si sono considerati i seguenti copriferri:

Solettone a travi incorporate:  $c = 45 \text{ mm}$

### 4.2 Acciaio da cemento armato

Acciaio in barre ad aderenza migliorata

B450C controllato in stabilimento, resistenza caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

### 4.3 Acciaio da carpenteria

Per le travi principali si prevede l'utilizzo di profili standard in acciaio classe S355 laminati a caldo, della serie "HE", conformi alla norma EN 10025-1.

## 5 MODALITÀ DI CALCOLO E CONVENZIONI

### 5.1 Software impiegato

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.

Il software è dotato 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 VCASLU del Prof. Gelfi.

Per le verifiche di base dei profili standard in acciaio, si impiega il software "ProfiliV6", del Prof. Gelfi.

Per l'impostazione automatica di calcoli ripetitivi e la gestione/presentazione dei dati, si utilizzano inoltre fogli elettronici sviluppati su piattaforma excel, le cui modalità operative verranno dettagliate di volta in volta per ciascun specifico caso.

### 5.2 Modalità di calcolo e verifica

In linea generale, l'approccio alla struttura nel suo complesso viene condotto studiando separatamente la sovrastruttura di impalcato (intesa come assieme costituito dall'impalcato + dispositivi di vincolo) e le sottostrutture.

Nei punti seguenti si riportano, in specifici capitoli, le modalità operative di dettaglio adottate per l'analisi e verifica, evidenziando, oltre ai criteri generali ed ipotesi-base di analisi e verifica strutturale, le "azioni di interfaccia", scambiate tra l'uno e l'altro elemento.

### 5.3 Convenzioni

lunghezze: m

forze - coppie: N, Nm

tensioni: N/mm<sup>2</sup>

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

$M_x$  momento torcente  
 $M_y$  momento flettente agente nel piano verticale  
 $M_z$  momento flettente agente nel piano orizzontale

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

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:

$M$  ( $M_f$ ) in luogo di  $M_y$   
 $V$  in luogo di  $F_z$   
 $T$  in luogo di  $M_x$

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

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

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

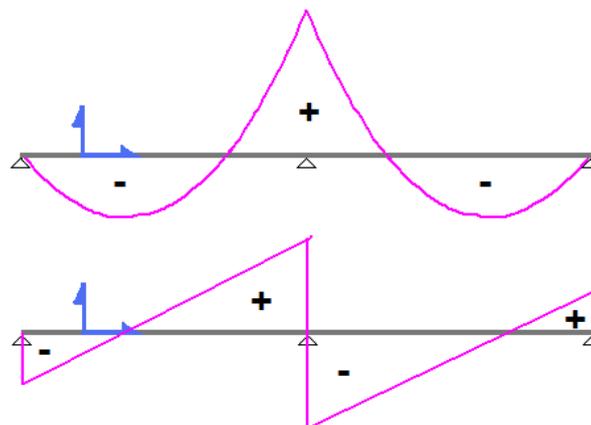


Figura 5.1: Azioni di trave: convenzione sui segni

## 6 IMPALCATO

### 6.1 Modalità generali di calcolo e verifica

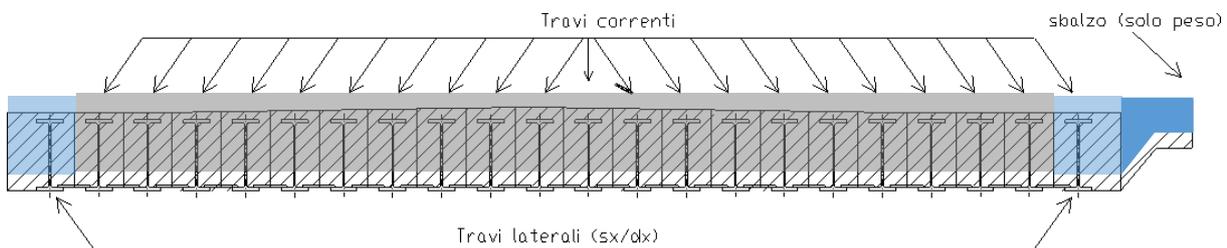
Ai fini del calcolo delle sollecitazioni, il solettone a travi incorporate viene modellato tramite una discretizzazione a grigliato formato da elementi principali longitudinali e trasversali. I primi sono orditi in asse alle travi metalliche incorporate nel calcestruzzo, mentre i secondi, responsabili della collaborazione trasversale dei vari elementi portanti longitudinali, sono orditi trasversalmente, ai primi, con un'ampiezza di discretizzazione paragonabile all'interasse degli elementi longitudinali.

Le proprietà geometriche adottate per gli elementi longitudinali vengono ricavate omogeneizzando il calcestruzzo ad acciaio, con riferimento all'ampiezza collaborante di competenza di ciascuna trave; le proprietà geometriche degli elementi trasversali sono definite sulla base di una sezione in calcestruzzo di ampiezza pari alla porzione di calcestruzzo modellata di competenza a ciascun elemento. Conformemente alle ipotesi di discretizzazione assunte, le rigidezze torsionali degli elementi "beam" longitudinali e trasversali verranno dimezzate.

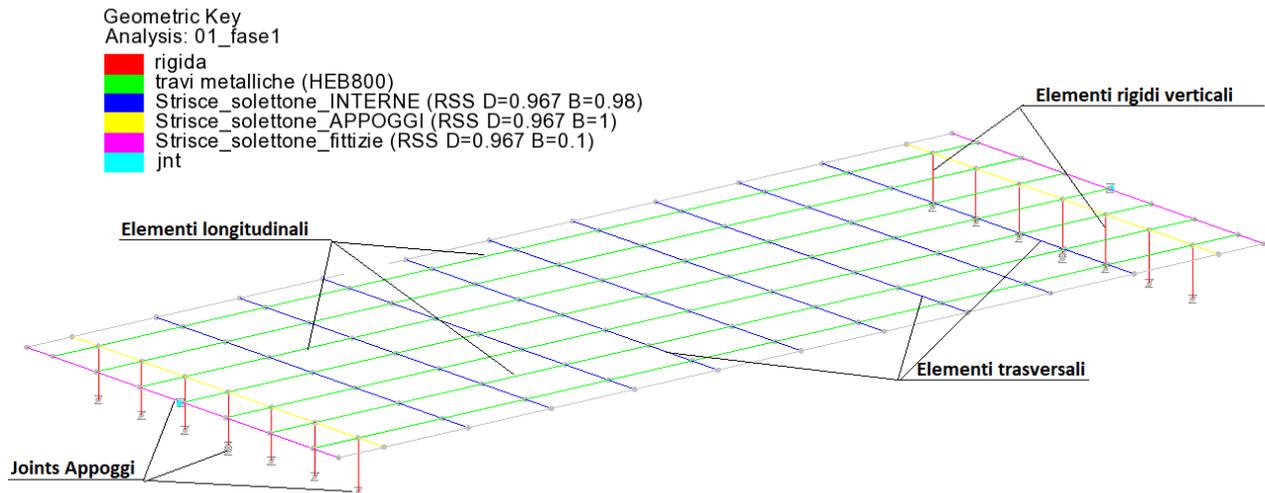
A favore di sicurezza, la porzione di calcestruzzo afferente allo sbalzo in aggetto trasversale, verrà considerata solamente ai fini del calcolo dei pesi strutturali. La modellazione tiene conto delle effettive eccentricità verticali, posizionando, convenzionalmente, il piano nodale della mesh a quota estradosso solettone. Le proprietà geometriche degli elementi strutturali afferenti ai fili longitudinali e trasversali tengono conto automaticamente dell'eccentricità del proprio baricentro rispetto al piano nodale.

Gli elementi di appoggio, modellati tramite elementi "joint" (elementi unidimensionali a 6 g.d.l.), dotati delle opportune rigidezze, sono collegati al piano nodale tramite elementi rigidi che riportano l'effettiva eccentricità del piano appoggi rispetto al piano di riferimento. Essi sono rigidamente collegati ad un ulteriore elemento tipo "joint" ubicato in corrispondenza del baricentro del sistema di appoggio, che, vincolato a terra, restituisce le risultanti complessive in termini di azioni e momenti in corrispondenza del baricentro appoggi.

Le figure seguenti riportano la discretizzazione operate per i vari elementi della sezione trasversale, ed il relativo modello FEM, in forma schematica e rispettivamente renderizzata.



**Figura 6.1 "Suddivisione elementi longitudinali"**


**Figura 6.2 “mesh E.F.”**

L’analisi strutturale verrà condotta sovrapponendo le sollecitazioni ricavate da analisi separate. La tabella seguente riepiloga le fasi studiate, indicando, per ciascuna di esse, le proprietà assunte per gli elementi principali.

nome fase	carichi/masse presenti	tipo analisi	Proprietà Geometriche attive
Fase1	Peso elementi metallici	Statica lin.	Solo elementi metallici
	Peso getto calcestruzzo		
Fase2	Peso sbalzo/i laterale/i	Statica lin.	Elementi metallici+cls omogeneizzati (n $\cong$ 17.03) + elementi trasversali c.a.
	Sovraccarichi finiture		
	Sovraccarichi ballast		
Fase3	Carichi mobili e azioni associate	Statica lin.	Elementi metallici+cis omogeneizzati (n=6.30) + elementi trasversali c.a.
	Vento		
	Sovraccarico marciapiede		
	Variazioni termiche uniformi		
Modale	Masse pesi propri + 0.2 variabili	Modale	Elementi metallici omogeneizzati + elementi trasversali c.a.

**Tabella 6.1 “Fasi di analisi e contributi di carico”**

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	17 di 113

### 6.1.1 Implementazione condizioni di carico

Per l'implementazione dei carichi nel modello, si adottano le tipologie presenti nella libreria del sistema E.F. Lusas, in particolare:

Carichi tipo "internal beam distributed" oppure tipo "global distributed"

Adottati per modellare contributi di carico lineare, uniformemente distribuiti sugli elementi di trave

Carichi tipo "patch" di superficie

Adottati per modellare carichi di superficie uniformemente distribuiti su zone delimitate dell'impalcato, indipendentemente dalla posizione e direzione degli elementi "beam" che formano la mesh

Carichi tipo "patch" di linea

Adottati per modellare carichi lineari uniformemente distribuiti su allineamenti delimitati dell'impalcato, indipendentemente dalla posizione e direzione degli elementi "beam" che formano la mesh

Carichi tipo "thermal"

Adottati per modellare gli effetti delle variazioni termiche uniformi

La tabella seguente riepiloga le varie tipologie di carico analizzate singolarmente nel modello.

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	18 di 113

Loadset	Loadcase	tipo carico	note
<b>Pesi propri (gk1)</b>			
	peso proprio elementi metallici	internal beam distributed	
	peso proprio getto calcestruzzo	internal beam distributed	
<b>Peso finiture (gk2)</b>			
	impermeabilizzazione zona ballast	patch - superficie	
	barriera standard 4m sx	global distributed	Predisposizione per barriera futura
<b>Peso ballast (gk3)</b>			
	ballast	patch - superficie	
<b>Carichi mobili (Qk)</b>			
	LM71 - eff. verticale - ecc. POS – pos. A - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - eff. verticale - ecc. NEG – pos. A - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - eff. verticale - ecc. POS – pos. B - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - eff. verticale - ecc. NEG – pos. B - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - eff. verticale - ecc. POS – pos. C - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - eff. verticale - ecc. NEG – pos. C - bin. 1	patch - superficie	
	SW/2 - eff. verticale - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - Serpeggio (eff. Vert + Trv) bin. 1	patch - linea	
	SW/2 - Serpeggio (eff. Vert + Trv) bin. 1	patch - linea	
	LM71 - avvio (eff. Vert + Lg) - bin. 1	patch - superficie	
	LM71 - frenatura (eff. Vert + Lg) - bin. 1	patch - superficie	
	SW/2 - avvio (eff. Vert + Lg) - bin. 1	patch - superficie	
	SW/2 - frenatura (eff. Vert + Lg) - bin. 1	patch - superficie	
<b>Vento - Fw</b>			
	Fw - vento (eff. Vert + Trv) a ponte scarico	patch - superficie	
	Fw - vento (eff. Vert + Trv) a ponte carico	patch - superficie	
<b>Var. term. Unif. Tk</b>			
	Tk - variazioni termiche uniformi	Thermal - element	

**Tabella 6.2 “Condizioni di carico esaminate”**

### 6.1.2 Carichi variabili da traffico (Qk)

Per quanto riguarda le condizioni di carico mobile, la posizione e segmentazione (ove necessaria) delle stese sarà effettuata con i seguenti obiettivi:

- Massimizzazione azioni taglianti alle estremità delle travi longitudinali
- Massimizzazione flessione in mezzera alle travi longitudinali
- Massimizzazione reazioni agli appoggi

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

Per questo motivo:

- relativamente al modello di carico LM71:

si studieranno tre disposizioni longitudinali di carico in cui la parte centrale viene posta in affiancamento alla linea appoggi e rispettivamente in mezzeria campata

- relativamente al modello di carico SW/2:

la lunghezza della singola stesa che compone il treno “copre” abbondantemente la luce totale del ponte. Si studierà pertanto una singola posizione di carico, in cui l’intera luce risulta occupata dalla stesa SW/2.

#### 6.1.2.1 Distribuzione trasversale dei carichi mobili

I carichi trasmessi dal binario (posto, a favore di sicurezza, in asse impalcato al fine di caricarlo interamente vista la larghezza ridotta di 3.96m) vengono diffusi al piano medio dell’impalcato secondo i criteri indicati dal MdP. In particolare, indicando con:

- $b_{trav}$  larghezza traversina
- $t_{ball}$  spessore ballast
- $t_{imp}$  spessore impalcato

La larghezza del “patch” afferente ai carichi indotti dal binario verrà così definita:

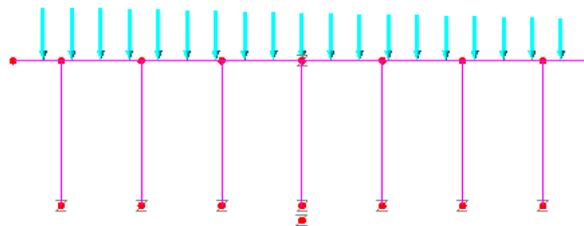
$$b_{diff} = b_{trav} + 2 \times (t_{ball}/4 + t_{imp}/2) \leq 4 \text{ m}$$

Si evidenzia che tutti i carichi associati ai modelli veicolari verranno diffusi su di un patch avente la medesima ampiezza della larghezza di diffusione di base.

#### 6.1.2.2 Eccentricità rispetto all’asse binario

Come si può notare dalla tabella, vengono definite, di base, due principali situazioni, afferenti rispettivamente a carico mobile con eccentricità positiva / negativa.

Questo si tramuta in una variazione delle pressioni lungo i lati dell’impronta di carico “patch”, così come può essere apprezzato dall’esame della figura seguente



**Figura 6.3 “Distribuzione pressioni dovute ai carichi mobili” in sezione trasversale**

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

### 6.1.3 Azioni associate ai carichi mobili

#### 6.1.3.1 Incremento dinamico e coefficiente di adattamento

I carichi mobili vengono implementati nel modello includendo il rispettivo coefficiente di adattamento  $\alpha$  (=1.1 per LM71; = 1 per SW/2), ed il relativo incremento dinamico  $\phi$ .

Il valore di  $\phi$  viene determinato con riferimento a “linee a ridotto standard manutentivo”, e quindi verrà posto pari a  $\phi_3$ .

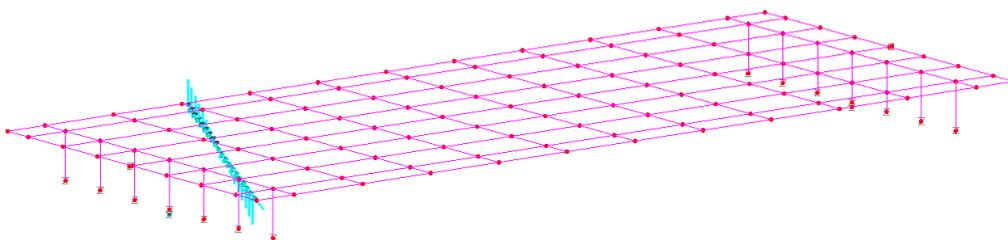
Per quanto riguarda ulteriori eventuali verifiche inerenti al comportamento dinamico, si evidenzia che si prevede, di base, di verificare l'appartenenza della frequenza propria verticale al “fuso” previsto dal MdP.

#### 6.1.3.2 Azioni centrifughe

Le azioni centrifughe non sono presenti in quanto nel tratto di ferrovia afferente all'opera il binario è rettilineo.

#### 6.1.3.3 Serpeggio

L'azione da serpeggio, valutata separatamente per i modelli LM71 e SW/2 (in ragione del differente valore di  $\alpha$  da associare) e nelle tre posizioni di carico A, B e C, viene implementata come un carico patch di linea, che riporta all'estradosso dell'impalcato sia l'effetto trasversale, sia l'effetto indotto dall'eccentricità verticale dell'azione rispetto al piano di riferimento. Quest'ultimo contributo si tramuta in un diagramma di pressione bitriangolare, come mostrato schematicamente in figura, per la generica disposizione longitudinale, sul generico binario.



**Figura 6.4 “Distribuzione pressioni indotte dall'azione di serpeggio”**

L'azione da serpeggio verrà posizionata, unitamente ai rispettivi carichi d'origine, in corrispondenza delle zone di interesse, ovvero in prossimità dell'asse appoggi e della mezzera impalcato.

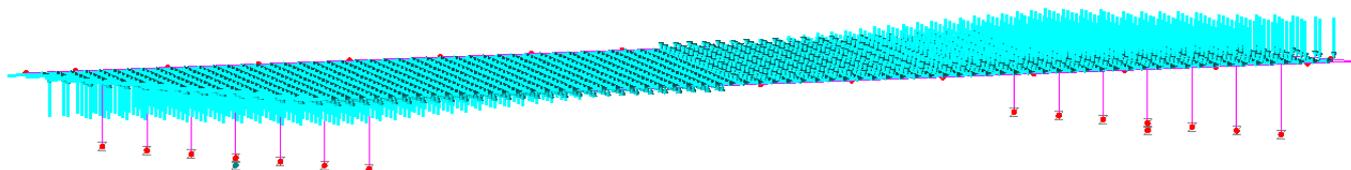
#### 6.1.3.4 Azioni di frenatura / avviamento

Le azioni competenti alla frenatura/avvio verranno valutate conformemente ai criteri contenuti nel MdP, e associate rispettivamente al modello LM71 e SW/2. Il carico patch tiene conto sia degli effetti longitudinali, sia degli effetti verticali indotti dall'eccentricità verticale della linea d'azione rispetto al piano di riferimento.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

In figura si riporta il patch relativo alle pressioni di avvio/frenatura lungo l'impronta del generico binario.

Linear/dynamic analysis  
 Analysis: 03\_fase3  
 Loadcase: 20:LM71\_frenatura\_binario1  
 Results file: SL01\_impalcato\_Interno\_rev3~03\_fase3.mys



**Figura 6.5 “Distribuzione pressioni indotte dall'azione orizzontale (avvio/frenatura)”**

Le azioni di frenatura e avvio verranno associate ai rispettivi modelli di carico mobile. A favore di sicurezza, non si considererà alcun fattore di riduzione dovuto all'interazione statica binario/struttura.

#### 6.1.4 Sismica

Le azioni sismiche vengono determinate a partire da un'analisi modale, considerando le masse afferenti alla totalità dei carichi permanenti, includendo il 20 % della massa afferente ai veicoli presenti sul binario. La successiva sovrapposizione modale, effettuata con il metodo CQC, da cui verranno estratte le azioni di base nelle tre direzioni, rispettivamente per i seguenti Stati Limite:

Sisma SLV

Sisma SLD

A valle, vengono quindi effettuate le combinazioni delle tre componenti di progetto (longitudinale, trasversale e verticale), sulla base della regola  $E1 + 0.3 E2 + 0.3 E3$ , considerando rispettivamente il caso di azione longitudinale / trasversale dominante.

La combinazione finale di progetto viene quindi determinata combinando agli effetti sismici, gli effetti derivanti dalla combinazione S.L.E. quasi permanente.

#### 6.1.5 Combinazioni di carico

I singoli load cases riportati nella tabella precedente, vengono successivamente combinati attraverso combinazioni semplici e/o involucri, atti a restituire gli effetti più sfavorevoli ai fini delle verifiche nell'ambito dei vari S.L. previsti dal MdP.

La scelta dei coefficienti amplificativi  $\gamma_{fav} / \gamma_{unfav}$  e dei coefficienti di combinazione  $\psi$  viene effettuata in automatico dal sistema Lusas a partire dai valori massimi/minimi previsti da normativa, che provvede a determinare il coefficiente peggiorativo, in funzione della caratteristica di sollecitazione che si intende massimizzare/minimizzare.

Verranno considerati i vari S.L. previsti dalle normative e dal Mdp; in particolare si studieranno, a valle delle combinazioni ed involuppi preliminari atti a combinare coerentemente i vari contributi insistenti sui due binari e sul manufatto, le seguenti combinazioni di base:

S.L.U.	A1	Carichi mobili Q <sub>k</sub> dominanti
S.L.U.	A1	Vento F <sub>w</sub> dominante
S.L.U.	A1	Termica Uni T <sub>k</sub> dominante
S.L.E.	Caratteristica	Carichi mobili Q <sub>k</sub> dominanti
S.L.E.	Caratteristica	Vento F <sub>w</sub> dominante
S.L.E.	Caratteristica	Termica Uni T <sub>k</sub> dominante
S.L.E.	Frequente	Carichi mobili Q <sub>k</sub> dominanti
S.L.E.	Frequente	Termica Uni T <sub>k</sub> dominante
S.L.E.	Quasi Permanente	
G <sub>k</sub> + E <sub>d</sub>	SLV	
G <sub>k</sub> + E <sub>d</sub>	SLD	

**Tabella 6.3 "involuppi di progetto elaborati"**

La scelta della peggiore situazione tra i casi base (Q<sub>k</sub>, T<sub>k</sub> e F<sub>w</sub> dominante) verrà effettuata elaborando i rispettivi involuppi.

### 6.1.6 Verifiche

Per la sovrastruttura di impalcato vengono effettuate le seguenti verifiche:

- Verifiche travi longitudinali metalliche
- Verifica statica trasversale – zona corrente
- Verifica di deformabilità
- Appoggi (deduzione massime/minime sollecitazioni)

#### 6.1.6.1 Verifica travi metalliche

Come previsto dal MdP, le travi metalliche verranno verificate escludendo la collaborazione del calcestruzzo, ed affidando pertanto le sollecitazioni derivanti dall'analisi FEM al solo profilo metallico.

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità locale, esse si intenderanno implicitamente soddisfatte in virtù della presenza dell'azione stabilizzante indotta dal calcestruzzo.

#### 6.1.6.2 Verifica statica trasversale

Le verifiche inerenti alla statica trasversale verranno effettuate con riferimento ai criteri validi per le sezioni in cemento armato, eseguendo le verifiche nei confronti dello S.L.U. e dello S.L.E. (limitazione tensioni e risp. fessurazione) per le zone maggiormente sollecitate.

Relativamente alle combinazioni di carico da utilizzarsi per le verifiche a fessurazione, si è fatto riferimento alle prescrizioni aggiuntive contenute nel MdP.

### 6.1.6.3 Verifica deformabilità

La verifica di deformabilità verrà effettuata valutando le frecce desunte dal modello F.E.M. sotto le opportune combinazioni di carico.

Si valuteranno inoltre le massime escursioni rilevate ai giunti ed ai dispositivi di vincolo.

### 6.1.7 *Esportazione delle sollecitazioni insistenti sulle spalle*

Ai fini delle verifiche delle spalle (cfr. cap. seguente), come accennato poco sopra, è previsto il posizionamento di uno specifico elemento unidimensionale tipo “joint” a 6 gradi di libertà, atto a riportare nel baricentro appoggi le sollecitazioni derivanti dalle varie combinazioni di carico.

Di seguito si riporta la posizione di tali elementi.

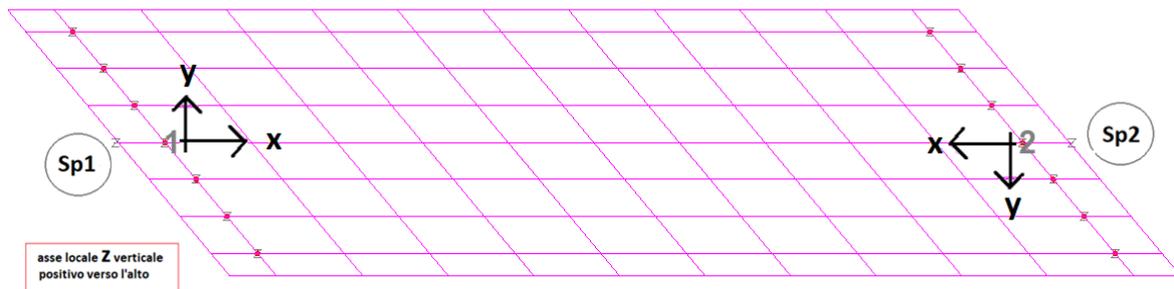
Verranno esportate tutte le componenti di sollecitazione concomitanti afferenti ai seguenti involuppi:

Involuppo S.L.U.							
max/min Fx	massima/minima azione longitudinale						
max/min Fy	massima/minima azione trasversale						
max/min Fz	massima/minima azione verticale						
max/min Mx	massima/minima azione torcente (asse momento longitudinale)						
max/min My	massima/minima azione flettente (asse momento trasversale (*))						
Involuppo S.L.E. caratteristico							
max/min Fx	massima/minima azione longitudinale						
max/min Fy	massima/minima azione trasversale						
max/min Fz	massima/minima azione verticale						
max/min Mx	massima/minima azione torcente (asse momento longitudinale)						
max/min My	massima/minima azione flettente (asse momento trasversale (*))						
Involuppo Sismico							
max/min Fx	massima/minima azione longitudinale						
max/min Fy	massima/minima azione trasversale						
max/min Fz	massima/minima azione verticale						
max/min Mx	massima/minima azione torcente (asse momento longitudinale)						
max/min My	massima/minima azione flettente (asse momento trasversale (*))						

**Tabella 6.4 “Sollecitazioni esportate”**

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	24 di 113


**Figura 6.6 “Nodi e sistema di riferimento sollecitazioni su baricentro appoggi”**
**Combinazioni di Stato Limite Ultimo**

INVILUPPI DI COMBINAZIONI	ELEMENT 1 (Spalla 1)						ELEMENT 2 (Spalla 2)					
	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
132.inviluppo S.L.U. A1 (Max)(Fx)	363741	66025	-1899900	61142	93189	8555	363739	-51639	-1915210	425566	388951	7986
133.inviluppo S.L.U. A1 (Min)(Fx)	-420191	-99306	-3548740	693302	531100	-4473	-420194	18361	-353630	328891	235350	-3905
132.inviluppo S.L.U. A1 (Max)(Fy)	-230315	202532	-3435550	186951	150743	-24028	144218	202639	-3331020	203570	202144	-24063
133.inviluppo S.L.U. A1 (Min)(Fy)	169307	-203719	-3431530	898884	753708	16607	-205231	-203826	-3536270	882284	702323	16641
132.inviluppo S.L.U. A1 (Max)(Fz)	-29188	97825	-1253460	-201449	-163663	-454	-6211	97989	-1253630	-201329	-161250	-515
133.inviluppo S.L.U. A1 (Min)(Fz)	-383982	-95679	-4015250	742159	576000	-4636	-406964	-95777	-4015320	741690	573301	-4597
132.inviluppo S.L.U. A1 (Max)(Mx)	165207	-203718	-3670590	1200320	1006100	16222	165204	-203825	-3670660	1200820	1006510	16256
133.inviluppo S.L.U. A1 (Min)(Mx)	-29188	97825	-1253460	-201449	-163663	-454	-29190	97990	-1253630	-202290	-164354	-508
132.inviluppo S.L.U. A1 (Max)(My)	170181	-203718	-3396900	1200290	1006570	16219	170178	-203825	-3396980	1200790	1006980	16254
133.inviluppo S.L.U. A1 (Min)(My)	-34162	97825	-1527150	-201420	-164135	-451	-34164	97991	-1527310	-202260	-164827	-505
132.inviluppo S.L.U. A1 (Max)(Mz)	144766	73417	-2926230	174823	167252	17779	144763	73524	-2926360	174328	166845	17744
133.inviluppo S.L.U. A1 (Min)(Mz)	-205773	-74604	-3153240	904513	731749	-25573	-205776	-74711	-3153310	904989	732139	-25538

**Combinazioni sismiche SLV**

INVILUPPI DI COMBINAZIONI	ELEMENT 1 (Spalla 1)						ELEMENT 2 (Spalla 2)					
	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
169.Gk + Ed_SLV (Max)(Fx)	543553	232661	-1067440	384444	344602	-200	543551	232681	-1067520	384405	344569	-206
170.Gk + Ed_SLV (Min)(Fx)	-578950	-232960	-1464950	-179857	-176587	-1714	-578951	-232980	-1465040	-179818	-176553	-1708
169.Gk + Ed_SLV (Max)(Fy)	208651	553576	-1066750	738350	578614	577	208649	553625	-1066830	738310	578576	561
170.Gk + Ed_SLV (Min)(Fy)	-244048	-553875	-1465640	-533762	-410598	-2491	-244049	-553924	-1465730	-533722	-410561	-2475
169.Gk + Ed_SLV (Max)(Fz)	208651	553576	-1066750	738350	578614	577	221415	553624	-1066830	738844	580300	557
170.Gk + Ed_SLV (Min)(Fz)	-244048	-553875	-1465640	-533762	-410598	-2491	-256815	-553923	-1465730	-534256	-412285	-2471
169.Gk + Ed_SLV (Max)(Mx)	221417	553576	-1066750	738884	580338	573	221415	553624	-1066830	738844	580300	557
170.Gk + Ed_SLV (Min)(Mx)	-256814	-553875	-1465640	-534296	-412323	-2487	-256815	-553923	-1465730	-534256	-412285	-2471
169.Gk + Ed_SLV (Max)(My)	221417	553576	-1066750	738884	580338	573	221415	553624	-1066830	738844	580300	557
170.Gk + Ed_SLV (Min)(My)	-256814	-553875	-1465640	-534296	-412323	-2487	-256815	-553923	-1465730	-534256	-412285	-2471
169.Gk + Ed_SLV (Max)(Mz)	208651	553576	-1066750	738350	578614	577	208649	553625	-1066830	738310	578576	561
170.Gk + Ed_SLV (Min)(Mz)	-244048	-553875	-1465640	-533762	-410598	-2491	-244049	-553924	-1465730	-533722	-410561	-2475

## Combinazioni SLE caratteristiche (rare)

INVILUPPI DI COMBINAZIONI	ELEMENT 1 (Spalla 1)						ELEMENT 2 (Spalla 2)					
	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
134:inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)(Fx)	245099	44137	-1703410	78085	93699	5596	245097	-34306	-1713650	321035	290873	5217
135:inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)(Fx)	-290408	-67131	-2487960	471187	360497	-3051	-290410	11314	-2477890	228246	163330	-2673
134:inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)(Fy)	-161209	138279	-2605240	164855	133734	-16877	97089	138351	-2533180	176328	169192	-16900
135:inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)(Fy)	112757	-139140	-2564360	612962	513676	11489	-145545	-139211	-2636590	601502	478229	11511
134:inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)(Fz)	-25358	65167	-1257710	-100201	-81106	-621	-10040	65277	-1257840	-100121	-79498	-662
135:inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)(Fz)	-265964	-64630	-2809690	504859	391390	-3163	-281286	-64695	-2809740	504546	389591	-3137
134:inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)(Mx)	112787	-139140	-2571990	820831	688012	11221	112785	-139211	-2572040	821162	688283	11244
135:inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)(Mx)	-25358	65167	-1257710	-100201	-81106	-621	-25360	65277	-1257840	-100762	-81567	-657
134:inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)(My)	112787	-139140	-2571990	820831	688012	11221	112785	-139211	-2572040	821162	688283	11244
135:inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)(My)	-25358	65167	-1257710	-100201	-81106	-621	-25360	65277	-1257840	-100762	-81567	-657
134:inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)(Mz)	97468	49235	-2253990	156491	145119	11956	97465	49306	-2254110	156161	144849	11933
135:inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)(Mz)	-145919	-50095	-2372430	616844	498532	-17601	-145921	-50166	-2372480	617161	498792	-17578

## 6.2 Analisi dei carichi

Qui di seguito si effettua in dettaglio l'analisi dei carichi, con riferimento ai singoli contributi raccolti nella Tabella 6.2 "Condizioni di carico esaminate".

### 6.2.1 Pesi propri (gk1)

I contributi di peso proprio vengono valutati sulla base delle dimensioni dei singoli elementi, con riferimento ad un peso specifico pari a 78.5 kN/m<sup>3</sup> e 25 kN/m<sup>3</sup>, rispettivamente per l'acciaio e per il calcestruzzo.

Pesi propri gk1		
	A (m <sup>2</sup> )	V(gk1) (N/m)
gk1'-travi HEB800	3.34E-02	-2623.31
gk1" Cls - travi correnti	5.08E-01	-12708.30
gk1" Cls - travi laterali	5.62E-01	-14037.93

**Tabella 6.5 "determinazione pesi propri gk1"**

L'area di calcestruzzo di competenza a ciascuna trave è stata valutata con riferimento allo spessore medio del solettone (incluso il contributo della pendenza d'estradosso).

Come inoltre indicato in Tabella 6.1 "Fasi di analisi e contributi di carico", tutti i contributi verranno applicati in fase 1 (attiva la mesh delle sole travi metalliche), mentre il contributo tagliante e torcente indotto dal peso dello sbalzo laterale verranno applicati in fase 2.

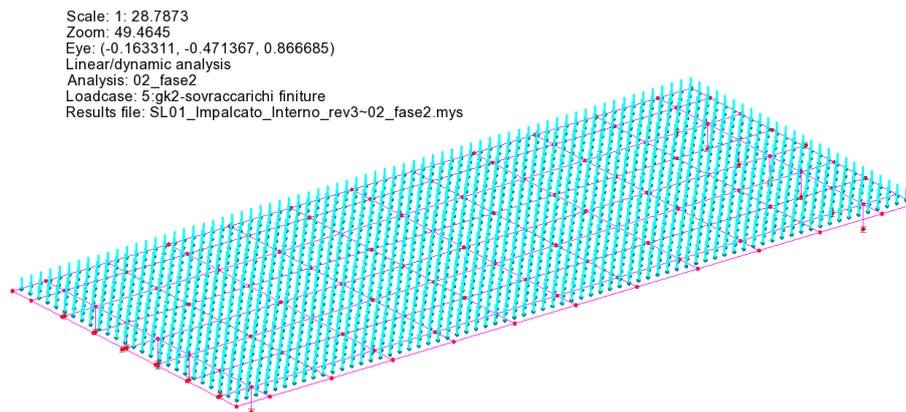
## 6.2.2 Sovraccarichi permanenti

### 6.2.2.1 Finiture (gk2)

I carichi delle finiture vengono implementati attraverso “patch loads” di superficie (cfr. tab. Tabella 6.2 “Condizioni di carico esaminate”), individuati dalle coordinate planimetriche dell’impronta di carico e dalla pressione (espressa in  $N/m^2$ ) indotta dal carico.

La tabella seguente riporta le coordinate planimetriche dei patches (che “coprono” longitudinalmente l’intero sviluppo dell’impalcato, costituito dalla luce centrale + code) e la pressione associata. Le coordinate planimetriche adottate sono riferite al sistema di riferimento cartesiano del modello, ubicato in corrispondenza dello spigolo destro del manufatto, lato spalla1 (cfr. schema).

Nel caso specifico avremo solo il carico indotto dall’impermeabilizzazione al disotto del ballast che copre l’intero impalcato vista la larghezza riotta di 3.96m.



**Figura 6.7 Sistema di riferimento e numerazioni spigoli patch**

Sovraccarichi finiture gk2	Vgk2(N/mq)	x1dx	y1dx	x2dx	y2dx	x1sx	y1sx	x2sx	y2sx
impermeabilizzazione zona ballast	-1200	0.00	0.00	14.22	0.00	-3.32	3.96	10.90	3.96

**Tabella 6.6 Sovraccarichi finiture - gk2**

### 6.2.2.2 Ballast (gk3)

Nella zona interessata dal manufatto il tracciato è rettilineo, conformemente alle indicazioni contenute in NTC2018 5.2.2.1.1. integrate dal MdP, 2.5.1.3.2, si assume uno spessore convenzionale del ballast pari a 0.80m ed un peso specifico di  $20 \text{ kN/m}^3$ .

La pressione indotta dai carichi del ballast assume pertanto il valore nominale:

$$gk3 = 20 \times 0.8 = 16 \text{ kN/m}^2$$

Il sovraccarico del ballast verrà assunto distribuito su tutto l’impalcato vista la larghezza ridotta di 3.96m.

### 6.2.3 Azioni da traffico ( $Q_k$ )

Qui di seguito si riportano i dati principali, necessari alla corretta identificazione dei vari contributi di carico mobile.

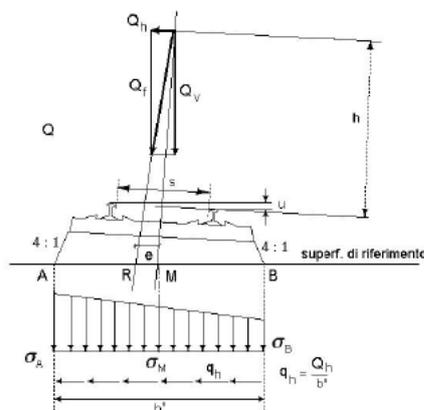
#### Parametri accessori

num. Binari	1	
Altezza di calcolo impalcato (solettone cis)	0.967 m	(riferita allo spessore medio del calcestruzzo)
Larghezza traversa	2.6 m	
Distanza PF da estradosso	1 m	
Spessore Ballast sotto traversa	0.35 m	(si considera il minimo a favore di sicurezza)
Ampiezza distribuzione trv. a P.M. soletta	3.742 m	
Angolo asse binario	circa parallelo	(angolo corda rispetto asse travi)
Eccentricità trasversale asse binario +/- (*)	0.08 m	
R - raggio di curvatura tracciato	rettilineo	
V - Vmax di progetto	100 km/h	
L $\phi$ - lunghezza l.d.i.	12.82 m	

**Tabella 6.7 Dati di base**

#### 6.2.3.1 Distribuzione delle pressioni indotte dai carichi mobili e dalle azioni associate

Gli effetti indotti dai carichi mobili verranno distribuiti al piano medio del manufatto, considerando le modalità di diffusione indicate da NTC2018 / MdP.



**Figura 6.8 Pressioni indotte dal binario**

Per semplicità, ed a favore di sicurezza perché di effetto sgravante, verrà trascurata, nei calcoli, la componente dovuta alla traslazione trasversale indotta dall'eventuale sovrizzo.

### 6.2.3.2 Incremento dinamico

La valutazione del coefficiente di incremento dinamico viene effettuata secondo i criteri semplificati previsti da NTC2018 5.2.2.2.3, risultando  $V = 100 \text{ km/h} < 200 \text{ km/h}$

Con riferimento pertanto ai seguenti parametri:

- Standard linea: ridotto
- $L\phi = L_{\text{netta}}$ : 12.82 m

Si ottiene:

$$\phi = \phi_3 = 2.16/(12.82^{0.5}-0.2) + 0.73 = 1.369 \quad \text{formula 5.27 NTC2018}$$

Relativamente all'applicabilità dell'approccio, si effettua la valutazione delle proprietà dinamiche della struttura.

Il calcolo della frequenza propria viene effettuato in prima battuta utilizzando l'espressione semplificata (formula 5.2.5) contenuta in NTC.

Dall'esame dei risultati dell'analisi strutturale, la freccia teorica del manufatto sotto l'azione dei pesi indotti dalle masse dei permanenti (valutazione effettuata considerando l'omogeneizzazione a breve termine calcestruzzo/acciaio) risulta:

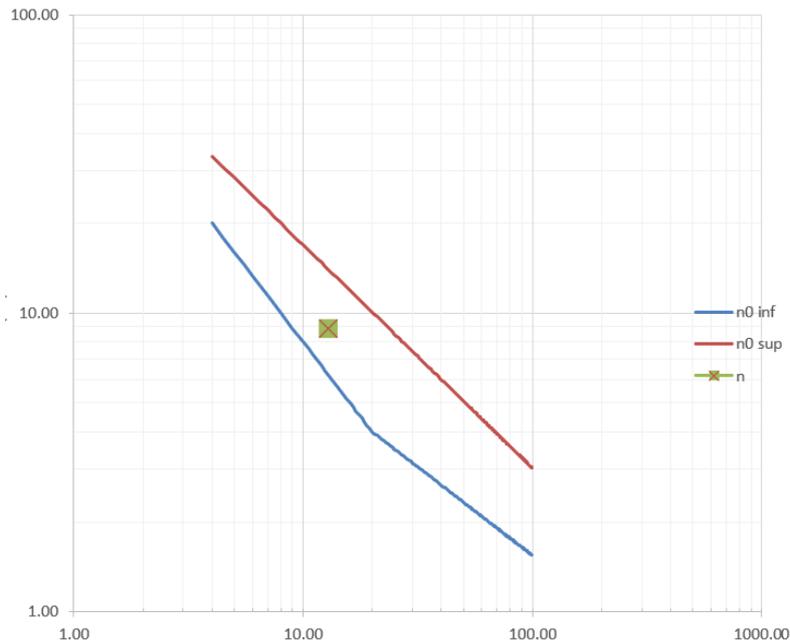
$$\delta_{gk} = 3.99 \text{ mm} \quad \text{valore dedotto approssimativamente a centro sagoma ballast}$$

Si ha pertanto:

$$n_0 = 17.75/(3.99)^{0.5} = 8.89 \text{ Hz}$$

Riportando il risultato, per la luce di riferimento  $L\phi$  nel fuso di frequenza proposto da normativa, si può evincere il pieno rispetto delle ipotesi di base.

Limiti frequenza vs. L (Hz)



**Figura 6.9 NTC 2018: fuso Freq. limite vs.  $L\phi$**

A titolo di esempio, e di ulteriore controllo della modellazione F.E.M., la frequenza flessionale sotto l'effetto delle medesime masse attive è stata determinata anche attraverso l'analisi modale che, per il modo n. 4 (eminentemente flessionale) riporta:

$$f = 8.75 \text{ Hz}$$

Valore simile a quello valutato attraverso la formulazione semplificata.

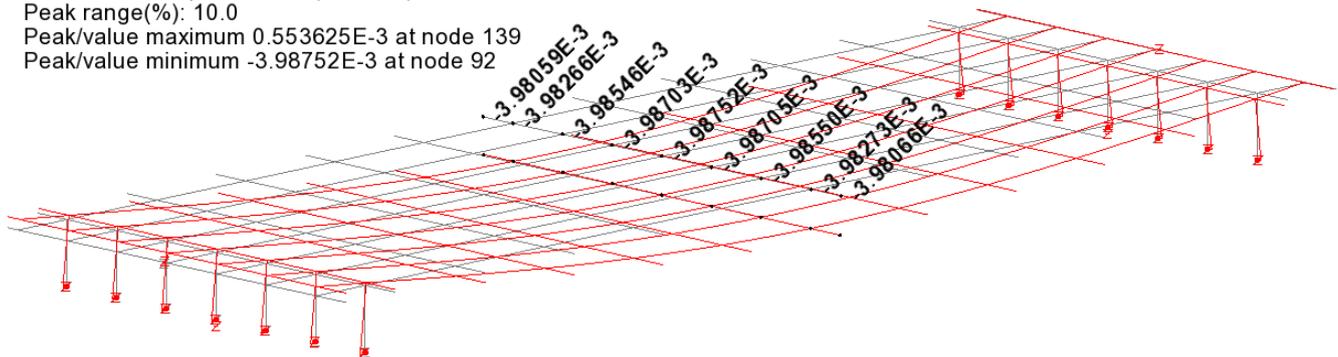
Qui di seguito si richiamano i risultati di interesse, qui richiamati, scaturiti dall'analisi F.E.M.

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	30 di 113

Analysis: 04\_fase3\_altro (tutti i permanenti)  
Loadcase: 28:effetto permanenti f3  
Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~04\_fase3\_altro (tutti i permanenti).mys  
Maximum displacement 3.98752E-3 at Gauss point 10 of element 112  
Deformation exaggeration: 144.387

Peak/value entity: Displacement  
Peak/value component: DZ (Units: m)  
Peak range(%): 10.0  
Peak/value maximum 0.553625E-3 at node 139  
Peak/value minimum -3.98752E-3 at node 92

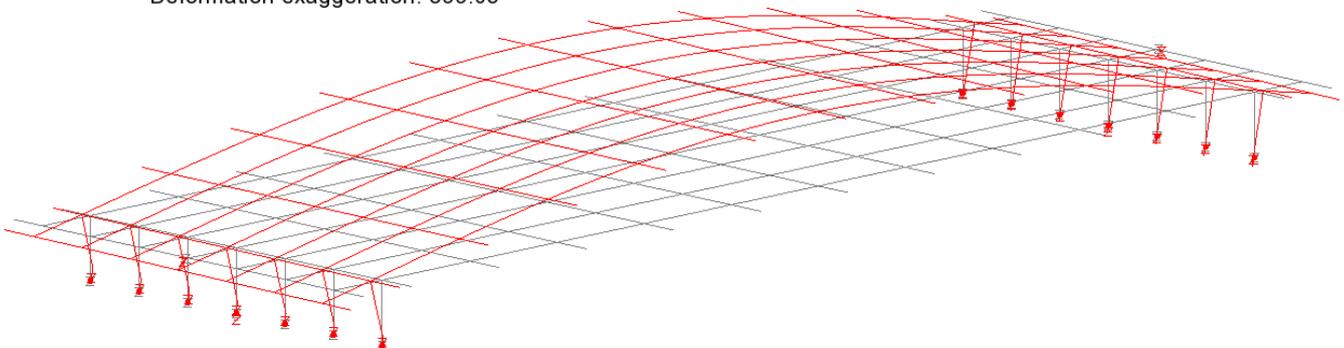


**Figura 6.10 Freccia verticale pesi masse permanenti**

La figura seguente riporta la forma modale n. 4, mentre nella tabella i fattori di partecipazione ricavati.

**Modo 4 (verticale)  $f = 8.75$  Hz**

Scale: 1: 28.7873  
Zoom: 49.4645  
Eye: (-0.369095, -0.800939, 0.471451)  
Eigenvalue analysis  
Analysis: 05\_modale  
Loadcase: 29:masse, 29:Mode 4 Frequency = 8.74456  
Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~05\_modale.mys  
Eigenvalue: 3.01881E3  
Natural frequency: 8.74456  
Error norm: 1.10121E-6  
Maximum displacement 2.88558E-3 at Gauss point 10 of element 112  
Deformation exaggeration: 399.05



**Figura 6.11 Analisi modale - modo n. 4**

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	31 di 113

## PARTICIPATION FACTORS IN GLOBAL DIRECTIONS

MODE	X DIRECTION			Y DIRECTION			Z DIRECTION		
	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.
1	48.57	0.9137E-02	0.9137E-02	505.8	0.9908	0.9908	0.1388E-03	0.7467E-13	0.7467E-13
2	-505.8	0.9909	1.000	48.57	0.9137E-02	1.000	0.2101E-03	0.1709E-12	0.2456E-12
3	0.1839E-03	0.1310E-12	1.000	0.1923E-01	0.1433E-08	1.000	-6.477	0.1625E-03	0.1625E-03
4	0.1003E-03	0.3901E-13	1.000	0.5602E-04	0.1216E-13	1.000	424.3	0.6974	0.6975
5	0.1577	0.9637E-07	1.000	2.301	0.2051E-04	1.000	0.6891E-03	0.1840E-11	0.6975
6	0.3674	0.5228E-06	1.000	-0.3317	0.4263E-06	1.000	0.1697E-01	0.1116E-08	0.6975
7	-0.9404E-01	0.3426E-07	1.000	-1.046	0.4236E-05	1.000	-0.8399E-02	0.2732E-09	0.6975
8	-0.9405E-04	0.3426E-13	1.000	-0.1214E-02	0.5706E-11	1.000	-1.583	0.9706E-05	0.6975
9	0.7464E-05	0.2158E-15	1.000	0.4270E-04	0.7063E-14	1.000	102.8	0.4092E-01	0.7384
10	-0.2188E-03	0.1855E-12	1.000	0.7692E-02	0.2292E-09	1.000	-95.56	0.3537E-01	0.7738
11	-0.7534E-02	0.2199E-09	1.000	0.2578	0.2575E-06	1.000	3.206	0.3981E-04	0.7739
12	-0.6941E-02	0.1866E-09	1.000	0.2288E-01	0.2028E-08	1.000	-41.90	0.6802E-02	0.7807
13	0.7724E-02	0.2311E-09	1.000	-0.5011E-01	0.9727E-08	1.000	-31.76	0.3907E-02	0.7846
14	0.6633E-02	0.1704E-09	1.000	0.1733	0.1164E-06	1.000	-5.383	0.1123E-03	0.7847
15	0.8717E-05	0.2943E-15	1.000	0.2503E-02	0.2426E-10	1.000	71.73	0.1993E-01	0.8046
16	0.1196E-03	0.5543E-13	1.000	0.2471E-03	0.2365E-12	1.000	118.1	0.5398E-01	0.8586
17	-0.3330E-01	0.4295E-08	1.000	-0.1002E-01	0.3892E-09	1.000	-0.1046	0.4239E-07	0.8586
18	0.7740E-02	0.2320E-09	1.000	0.2851E-01	0.3149E-08	1.000	-0.2319	0.2082E-06	0.8586
19	-0.1943E-03	0.1463E-12	1.000	-0.3838E-03	0.5706E-12	1.000	-45.90	0.8160E-02	0.8668
20	-0.2772E-03	0.2976E-12	1.000	-0.3363E-03	0.4381E-12	1.000	-158.9	0.9786E-01	0.9646

Tabella 6.8 Fattori di partecipazione an. Modale

## 6.2.3.3 Modelli di carico mobile

I modelli di carico mobile previsti da NTC2018 per lo schema statico in oggetto sono costituiti da:

Modello LM71

Modello SW/2

## Modello LM71

Il modello LM71 è composto da una parte centrale, formata da una successione di assi da 250 kN, seguita e preceduta da "code" di intensità pari a 80 kN/m, segmentabili in funzione della forma della linea di influenza.

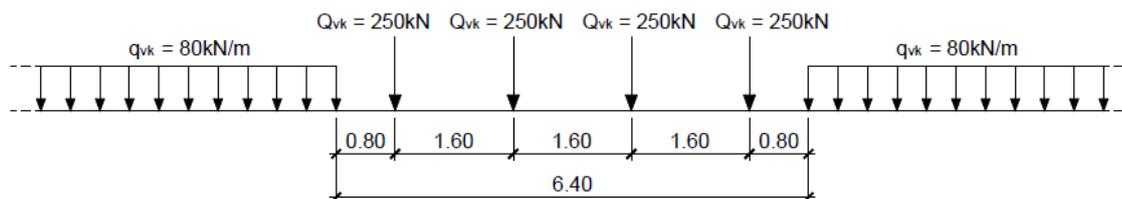


Figura 6.12 modello LM71

Come consentito da NTC2018, ai fini del calcolo delle pressioni insistenti a piano medio impalcato, i carichi concentrati da 250 kN verranno sostituiti da stese distribuite di intensità pari a 250/1.60 kN/m.

Per la valutazione delle pressioni indotte dalle varie parti del LM71, si considereranno anche:

 Gli effetti del fattore di adattamento  $\alpha = 1.1$ 

 Gli effetti dell'eccentricità trasversale aggiuntiva  $e = +/- 1435/18 = +/- 0.08 \text{ m}$

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	32 di 113

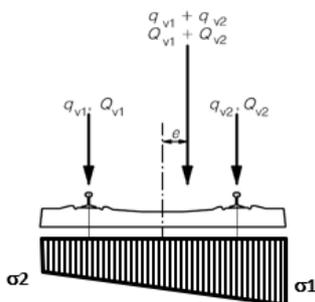
Gli effetti dell'incremento dinamico

$$\phi = 1.369$$

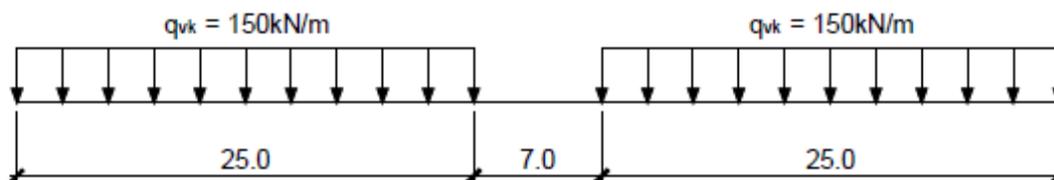
L'effetto dell'eccentricità trasversale viene valutato considerando l'azione torcente rispetto all'asse teorico del carico, indotta dall'eccentricità.

Qui di seguito si riporta il calcolo delle pressioni valutate agli estremi trasversali dell'impronta di carico sul piano medio per ciascun contributo di carico LM71, nelle varie situazioni individuate.

Effetti dei carichi verticali						
	qv (kN/m)	mx (kNm/m)	$\sigma_N$	$\sigma_M$	$\sigma_1$	$\sigma_2$
LM71_cle_dinam_POS	-235.29	-18.76	-62.88	-8.04	-70.92	-54.84
LM71_code_dinam_POS	-120.47	-9.60	-32.19	-4.12	-36.31	-28.08
LM71_cle_dinam_NEG	-235.29	18.76	-62.88	8.04	-54.84	-70.92
LM71_code_dinam_NEG	-120.47	9.60	-32.19	4.12	-28.08	-36.31

**Tabella 6.9 Effetti verticali LM 71- calcolo pressioni sul P.M.**

**Figura 6.13 Schema di riferimento**
**Modello SW/2**

Il modello SW/2 è composto da due stese lineari lunghe 25 m, NON segmentabili, distanti 7 m e di intensità pari a 150 kN/m ciascuna.

**TRENO DI CARICO SW2**

**Figura 6.14 modello SW/2**

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

Per la valutazione delle pressioni indotte dalle varie stese SW/2, si considereranno:

Gli effetti del fattore di adattamento  $\alpha = 1.0$   
 Gli effetti dell'eccentricità trasversale aggiuntiva  $e = +/- 1435/18 = +/- 0.08 \text{ m}$   
 Gli effetti dell'incremento dinamico  $\phi = 1.369$

La deduzione delle pressioni sull'impronta viene effettuata secondo i medesimi criteri visti poco sopra.

Effetti dei carichi verticali	qv (kN/m)	mx (kNm/m)	$\sigma_N$	$\sigma_M$	$\sigma_1$	$\sigma_2$
SW/2_dinam_POS	-205.34	0.0	-54.88	0.00	-54.88	-54.88
SW/2_dinam_NEG	-205.34	0.0	-54.88	0.00	-54.88	-54.88

**Tabella 6.10 Effetti verticali SW/2- calcolo pressioni sul P.M.**

#### 6.2.3.4 Azione centrifuga (qt)

L'azione centrifuga, da associarsi ciascuna parte dei rispettivi modelli LM71 e SW/2 viene valutata secondo i criteri contenuti in NTC2018 5.2.2.3.1.

L'azione, agente trasversalmente al binario si intende applicata a 1.80 m rispetto al P.F. e dà luogo ad una risultante orizzontale ed una coppia torcente, che si tramutano, in corrispondenza del piano di riferimento, in un'azione tangenziale ed una pressione verticale avente andamento triangolare. Le dimensioni dell'impronta su cui si considerando applicate le azioni associate alla centrifuga sono le medesime degli effetti verticali cui si associano.

Con riferimento alle stese distribuite di carico LM71 e SW/2, si avrà:

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha q_{vk})$$

**Figura 6.15 Formulazione generale - effetti dell'azione centrifuga sulle stese distribuite**

Essendo il tracciato rettilineo, in corrispondenza dell'opera, l'azione centrifuga non è presente.

#### 6.2.3.5 Serpeggio (qs)

In associazione ai carichi mobili si considera inoltre l'azione di serpeggio, consistente in un'azione concentrata posta a quota piano ferro, agente trasversalmente al tracciato, nei due versi.

L'intensità dell'azione da serpeggio è pari a  $100 \times \alpha \text{ kN}$ .

Come per l'azione centrifuga, si considerano, per il serpeggio, l'effetto indotto dall'azione trasversale unitamente all'azione torcente associata all'eccentricità dell'azione rispetto al piano di riferimento, che si tramuta in un diagramma di pressioni verticali bitriangolare.

Qui di seguito si riporta il calcolo delle pressioni agenti per effetto del serpeggio associato ai modelli di carico LM71 e risp. SW/2.

Effetti del serpeggio	Qt (kN)	Mx (kNm)	$\sigma_N$	$\sigma_M$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_t$
Serpeggio_LM71_POS_effetto_orizz	110	-110	0				29.40
Serpeggio_LM71_POS_effetto_vert				-47.13	-47.13	47.13	
Serpeggio_LM71_NEG_effetto_orizz	-110	110	0				-29.40
Serpeggio_LM71_NEG_effetto_vert				47.13	47.13	-47.13	

**Tabella 6.11 LM 71 - azione di serpeggio**

Effetti del serpeggio	Qt (kN)	Mx (kNm)	$\sigma_N$	$\sigma_M$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_t$
Serpeggio_SW/2_POS_eff_orizz	100	-100	0				26.72
Serpeggio_SW/2_POS_eff_vert				-42.85	-42.85	42.85	
Serpeggio_SW/2_NEG_eff_orizz	-100	100	0				-26.72
Serpeggio_SW/2_NEG_eff_vert				42.85	42.85	-42.85	

**Tabella 6.12 SW/2 - azione di serpeggio**

#### 6.2.3.6 Azioni di frenamento/avvio (ql)

Le azioni di frenatura ed avviamento da associarsi ai modelli di carico LM71 e SW/2 vengono ipotizzate agire a quota piano ferro, e distribuite anch'esse, come visto per le altre azioni associate, sull'impronta di carico del modello.

In linea generale, l'azione longitudinale di frenamento / avvio, consistente in una risultante orizzontale, dà luogo, sul piano di riferimento, oltre ad un'azione tangenziale  $\sigma_1$ , ad una distribuzione di pressioni verticali con andamento bitriangolare dovuto alla coppia flettente distribuita indotta dall'eccentricità verticale.

Le tabelle seguenti riportano il calcolo delle pressioni da associarsi ai vari modelli di carico.

La lunghezza complessiva della stesa di frenatura viene fissata, cautelativamente, sempre pari alla lunghezza totale lorda della struttura (14.22 m).

Lunghezza stesa frenatura	14.22	m		
	Ql (kN)	My (kN)	$\sigma_l$	$\sigma_M$
Frenatura LM71_effetto_orizz	312.84		5.88	
Frenatura LM71_effetto_vert		312.84		2.48
Avvio LM71_effetto_orizz	516.186		9.70	
Avvio LM71_effetto_vert		516.19		4.09

**Tabella 6.13 LM71 - frenatura / avvio**

Lunghezza stesa frenatura	14.22	m		
	Ql (kN)	My (kN)	$\sigma_l$	$\sigma_M$
Frenatura SW/2_effetto_orizz	497.70		9.35	
Frenatura SW/2_effetto_vert		497.70		3.95
Avvio SW/2_effetto_orizz	469.26		8.82	
Avvio SW/2_effetto_vert		469.26		3.72

**Tabella 6.14 SW/2 - frenatura/avvio**

A favore di sicurezza, non si considererà, nelle verifiche dei dispositivi di appoggio e nella deduzione delle sollecitazioni sulle spalle, la riduzione per effetto dell'interazione binario/struttura.

#### 6.2.3.7 Disposizione longitudinali delle stese di carico

Il binario risulta potenzialmente impegnato da un modello LM71 o da un modello SW/2.

Il posizionamento longitudinale e l'eventuale segmentazione delle stese di carico (e delle relative azioni associate) lungo il binario verrà effettuato sulla base dei seguenti obiettivi:

- Ricerca del massimo momento flettente in mezzeria impalcato
- Ricerca della massima azione tagliante alle estremità impalcato
- Ricerca dei massimi effetti verticali/orizzontali sui dispositivi di vincolo
- Valutazione delle massime deformazioni verticali

Il problema, pertanto, si banalizza nella massimizzazione degli effetti sulle tre linee di influenza:

- Massima azione tagliante spalla 1 (\*)
- Massimo momento flettente mezzeria (l.d.i. di forma analoga a quella dell'abbassamento in mezzeria)
- Massima azione tagliante spalla 2 (\*)



**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA**  
**LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA**  
**NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST**

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	36 di 113

(\*) vista la lunghezza limitata della “coda” impalcato, la linea di influenza delle massime azioni verticali d’appoggio risulta praticamente coincidente.

Con riferimento alla configurazione e segmentabilità delle stese, si considerano pertanto le seguenti condizioni di base di carico mobile.

Modello LM71

LM71\_PosA massimi effetti verticali lato spalla 1

La condizione prevede la parte centrale del LM71 accostata al filo appoggi lato spalla1, ed una stesa di coda posizionata a ricoprire l’intera luce netta rimanente

LM71\_PosB massimi effetti flettenti mezzeria

La condizione prevede la parte centrale del LM71 allineata alla mezzeria campata, con le relative “code” sulla restante parte della luce netta.

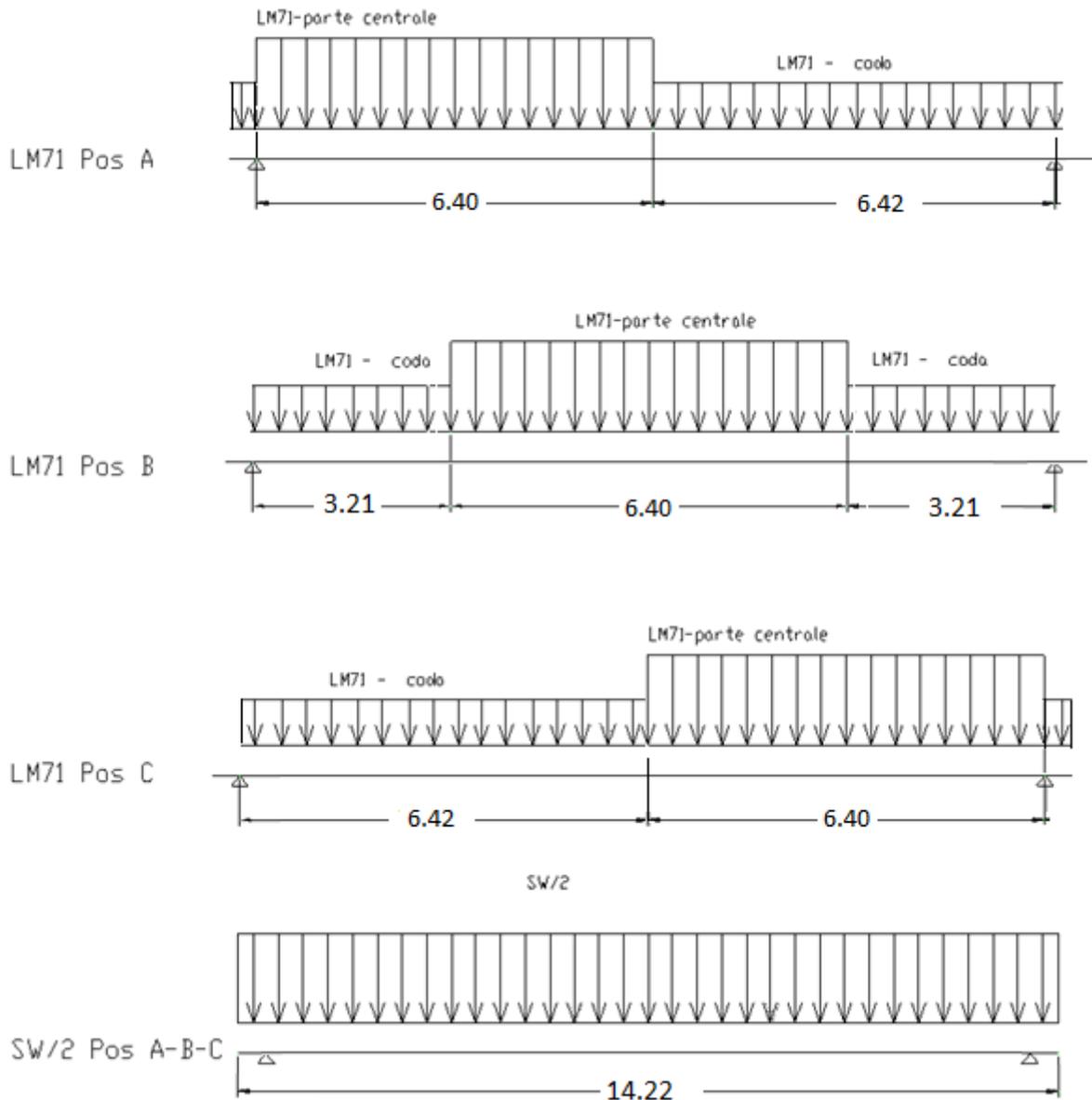
LM71\_PosC massimi effetti verticali lato spalla 2

La condizione prevede la parte centrale del LM71 accostata al filo appoggi lato spalla2, ed una stesa di coda posizionata a ricoprire l’intera luce netta rimanente.

Modello SW/2

Per il modello SW/2, le cui stese non risultano segmentabili, si considera una delle due stese poste ad occupare l’intera lunghezza d’impalcato. Tale posizione è in grado di massimizzare le caratteristiche di interesse nei punti indicati.

La figura seguente riporta schematicamente le stese di carico nelle varie configurazioni indicate



**Figura 6.16 Configurazioni posizione carichi mobili**

Per l'azione da serpeggio, si opererà nel seguente modo:

Per le condizioni di carico LM71\_PosA, PosB e PosC: l'azione da serpeggio viene posizionata in corrispondenza dei punti di estremità (pos A e C) e della mezzeria (posB).

Per la condizione di carico SW/2, che prevede una configurazione "unica", si posizionerà l'azione da serpeggio associata nei tre punti indicati per il modello LM71.

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

#### 6.2.3.8 Modalità di elaborazione dell'azione multicomponente da traffico

Per semplicità, il calcolo delle sollecitazioni verrà effettuato con riferimento alle singole condizioni di carico evidenziate nei punti precedenti, assunte come indipendenti.

A valle dell'analisi verrà effettuata la combinazione di ciascuna posizione di carico mobile con le corrispondenti azioni associate, ottenendo quindi l'azione multicomponente da traffico a valle dell'elaborazione strutturale.

L'azione multicomponente da traffico comprenderà pertanto, per ciascun modello di carico, e per ciascuna posizione, i seguenti contributi:

- Effetto dei carichi verticali dinamizzati
- Azione centrifuga (se peggiorativa)
- Serpeggio (con il segno peggiorativo)
- Azione di frenatura/avvio

Per la valutazione dello sghembo, si considera, limitatamente ai modelli LM71, un'ulteriore posizione di carico, denominata Pos. D, coincidente con la sezione posta a 3 m dalla linea appoggi, lato spalla 1.

Il patch del carico LM71 (verticale e centrifuga) verrà posizionato con la mezzeria della parte centrale, in corrispondenza di questa sezione, così come l'azione di serpeggio.

#### 6.2.3.9 Modalità di combinazione dei carichi sui binari

Vista la larghezza ridotta di 3.96m, della struttura in oggetto, si prevede la possibilità della realizzazione futura di un binario al disopra dell'

Le azioni di frenatura / avvio verranno sempre combinate in modo da fornire il valore più sfavorevole sulla struttura. In linea generale, considerando l'effettivo verso di circolazione dei treni, si considererà la presenza, sui due binari, di un veicolo in frenata ed uno in avvio.

#### 6.2.4 *Sovraccarico sui marciapiedi (qf)*

Essendo la struttura posta all'interno dell'impalcato non sono presenti marciapiedi e di conseguenza anche i sovraccarichi accidentali  $q_{f,k} = 10 \text{ kN/m}^2$ .

#### 6.2.5 *Azioni del vento (Fw)*

Essendo la struttura una porzione interna dell'impalcato non è prevista la presenza di dispositivi antirumore. Ai fini del calcolo dell'azione del vento si considera la condizione a ponte carico.

Il calcolo della pressione del vento viene effettuata con riferimento ai criteri contenuti in EN 1991-1-4, corredate dal relativo annesso nazionale.

### 6.2.5.1 Pressione del vento

Ai fini delle verifiche si considera la condizione a ponte carico.

#### **Vento a ponte carico**

L'altezza della superficie di prospetto è valutata con riferimento allo spessore medio impalcato + spessore altezza PF + sagoma  $h = 4$  m, risultando:

$$d_{\text{carico}} = 1+1+4 = 6.00 \text{ m}$$

La quota del baricentro struttura, inteso come baricentro della superficie di prospetto, viene fissata a 4.50 m di quota.

Le tabelle seguenti riportano il calcolo della pressione del vento unitamente a tutti i parametri che concorrono alla loro definizione.

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	40 di 113

**Calcolo azioni del vento su impalcato ferroviari secondo EN 1991-1-4 + NAD**
**Calcolo parametri di base**

Categoria sito	<b>IV</b> HI-III-IV-V (categorie secondo NAD EN 1991-1-4)
Zona	<b>1</b> UNI EN 1991-1-4
$a_s$	<b>59</b> m - quota sito
$v_{b0}$	25 4.1.(1) P
$a_0$	1000 m (cfr. tab. N.A. 1 parametri nazionali)
$k_a$	0.01 1/s (cfr. tab. N.A. 1 parametri nazionali)
$v_b$	25 4.1.(1) P
$v_b$	26.6 velocità di base del vento
$c_{dir}$	<b>1.00</b> 4.2.(2) P - nota 2
$c_{season}$	<b>1.00</b> 4.2.(2) P - nota 3
$c_r$	0.71 Coeff. Rugosità terreno (EN 1991-1-4 §4.3.2)
$c_{scd}$	<b>1.00</b> fattore di struttura
$k_t$	<b>1.00</b> fattore di turbolenza (valore raccomandato N.A.D.)
$c_o$	<b>1.00</b> coeff. orografia EN 1991-1-4 §4.3.1 e Annex A3
$T_r$	<b>100</b> periodo di ritorno
$k_f$	<b>0.138</b>
$n$	<b>1.000</b>
$\alpha_r$	1.06
$z_0$	<b>0.3</b> EN 1991-1-4 §4.3.2
$z_{0II}$	0.05 EN 1991-1-4 §4.3.2 prosp. 4.1
$z_{min}$	<b>8.00</b> EN 1991-1-4 §4.3.2
$z_{max}$	200 EN 1991-1-4 §4.3.2
$k_r$	<b>0.22</b> fattore di terreno EN 1991-1-4 §4.3.2 (4.5)
$v_m(z)$	18.8 EN 1991-1-4 cap. 4.3.1 (4.3)
$\sigma_v$	5.72 scarto comp. turbolenta EN 1991-1-4 §4.4 (4.6)
$\rho$	1.25 densità aria (4.5 nota 2 e N.A.D.)
$l_v(z)$	0.30 EN 1991-1-4 cap. 4.4 (4.7)
$c_e(z)$	1.57 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9) => per deduzione
$q_p(z)$	690.93 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9)
$v^{*}_b$	25.00 EN 1991-1-4 §8.1 (4) + NAD
$v^{*}_m(z)$	17.68 EN 1991-1-4 cap. 4.3.1 (4.3)
$l^{**}_v(z)$	0.32 EN 1991-1-4 cap. 4.4 (4.7)
$c_e^{**}(z)$	1.63 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9) => per deduzione
$q^{**}_p(z)$	637.97 EN 1991-1-4 cap. 4.5 (4.9)

**Caratteristiche impalcato**

$b_{imp}$	<b>3.96</b> m (cfr. figura)
$Z$	<b>4.50</b> m quota baricentro struttura da p.c.
$d_{sagoma}$	<b>4.00</b> (m) EN 1991-1-4 §8.1. (5) + NAD
$d_{scarico}$	<b>2.00</b> (m) $d_{it}$ A ponte scarico (cfr. figura)
$d_{carico}$	<b>6.00</b> (m) $d_{it}$ a ponte carico (cfr. figura)
$\psi_0$	0.60 coefficiente di combinazione (EN 1990)
$C_{fx}$ scarico	1.86 EN 1991-1-4 - cap. 8.3.1 fig. 8.3
$C_{fx}$ carico	2.22
$b/d_{scarico}$	1.98
$b/d_{carico}$	0.66
$f_w$ scarico	1282.02 (N/m <sup>2</sup> )
$f_w$ carico	1532.83 (N/m <sup>2</sup> )
$f^{**}_w$	1183.76 (N/m <sup>2</sup> ) (EN 1991-1-4 cap. 8.1 (4))
$F_w$ ,scarico	2564.05 (N/m) Risultante a ponte scarico, car.
$F_w$ ,carico	9196.99 (N/m) Ris. a ponte carico, car.
$\min(\psi_0 F_w ; F^{**}_w)$	710.26 (N/m) Ris. a ponte scarico, comb. ( $\min \psi_0 F_w ; F^{**}_w$ )

Esempi di calcolo di dtot per impalcato con barriera e con sagoma stradale

**EN 1991-1-4 - figura 8.3**

**Tabella 6.15 Pressione del vento a ponte carico- azioni globali**

L'azione del vento viene applicata al modello in corrispondenza del piano di riferimento, fissato convenzionalmente a estradosso impalcato, tenendo conto dell'eccentricità verticale del baricentro delle pressioni.

Riferendosi pertanto all'eccentricità dell'azione rispetto al piano di riferimento, l'azione verrà uniformemente distribuita sull'intera superficie dell'impalcato attraverso una distribuzione di azioni orizzontali tangenziali ed una distribuzione bitriangolare di pressioni verticali, valutate nel modo seguente:

$$\sigma_t = F_y / (b_{imp} \times l_{imp}) \quad \text{N/m}^2$$

$$\sigma_M = F_y \times \Delta h / (b_{imp}^2 / 6 \times l_{imp}) \quad \text{N/m}^2 (+/-)$$

Dove:

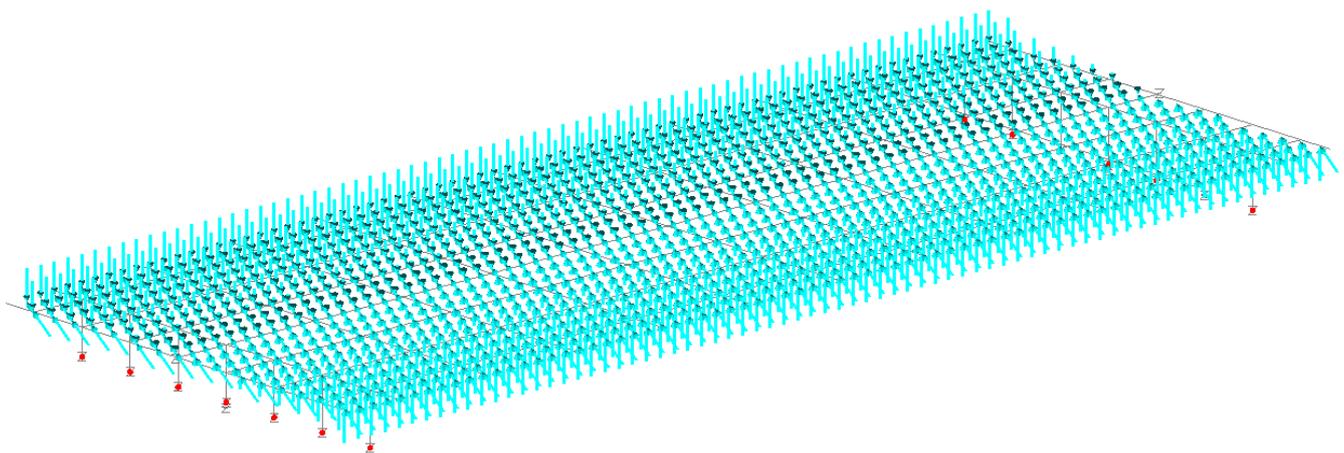
$b_{imp} = 3.96 \text{ m}$  larghezza complessiva impalcato

$l_{imp} = 14.22 \text{ m}$  lunghezza complessiva impalcato

$\Delta h =$  eccentricità del punto di applicazione dell'azione del vento rispetto al piano di riferimento ( $6.00/2 - 1.00$ ).

La figura seguente riporta schematicamente i carichi da vento implementati nel modello (patch load verticali e orizzontali).

Scale: 1: 28.7873  
Zoom: 49.4645  
Eye: (-0.306225, -0.712697, 0.631102)  
Linear/dynamic analysis  
Analysis: 03\_fase3  
Loadcase: 25:Fw\_carico  
Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~03\_fase3.mys



**Figura 6.17 Implementazione carichi da vento**

L'ulteriore eccentricità dell'azione implementata a quota riferimento rispetto agli assi baricentrici degli elementi e rispetto all'asse appoggi è automaticamente gestita dal sistema ad elementi finiti.

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

### 6.2.6 Variazioni termiche (Tk)

Conformemente a quanto specificato dal MdP 2.5.1.4.4.1, si considera una variazione termica uniforme  $\Delta T = +/- 15^{\circ}\text{C}$ .

### 6.2.7 Azioni sismiche (E)

#### 6.2.7.1 Generalità

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 2018, da cui scaturisce un coefficiente d'uso CU = 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.

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:

- $a_{g,r}$ , 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 per tutti gli S.L. previsti dalla normativa.

**Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto**

Latitudine: 45.42546

Longitudine: 10.95702

Stato limite	V <sub>N</sub> (anni)	C <sub>U</sub>	V <sub>R</sub> (anni)	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> (g)	F <sub>0</sub>	T*c	a <sub>g</sub> (m/s <sup>2</sup> )	F <sub>v</sub>
SLO	50	2	100	60	0.061	2.513	0.250	0.598	0.838
SLD	50	2	100	101	0.079	2.471	0.261	0.775	0.938
SLV	50	2	100	949	0.201	2.469	0.279	1.972	1.494
SLC	50	2	100	1950	0.261	2.404	0.287	2.560	1.658

**Tabella 6.16: "Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto"**

In quest'ultima V<sub>N</sub> è la vita nominale dell'opera; C<sub>U</sub> è il coefficiente relativo alla classe d'uso; V<sub>R</sub> è il periodo di riferimento per l'azione sismica; T<sub>R</sub> è il periodo di ritorno associato alla probabilità di non superamento dello stato limite di riferimento; a<sub>g</sub> è la massima accelerazione riferita a quella di gravità attesa sul sito su suolo di riferimento; F<sub>0</sub> è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; F<sub>v</sub> è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale; T<sub>C</sub>\* 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.

**Parametri per la definizione dello spettro orizzontale**

Stato limite	Suolo	Categ. Top.	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub>	S	C <sub>C</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
SLO	B	T1	1.20	1.00	1.20	1.451	0.121	0.363	1.844
SLD	B	T1	1.20	1.00	1.20	1.439	0.125	0.376	1.916
SLV	B	T1	1.20	1.00	1.20	1.420	0.132	0.396	2.404
SLC	B	T1	1.15	1.00	1.15	1.412	0.135	0.405	2.644

**Tabella 6.17 : "Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale"**

In quest'ultima S<sub>s</sub> ed S<sub>T</sub> sono rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione S; C<sub>C</sub> è il coefficiente che modifica il valore del periodo T<sub>C</sub>\*; T<sub>B</sub> è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale; T<sub>C</sub> è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro della componente orizzontale; T<sub>D</sub> 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.

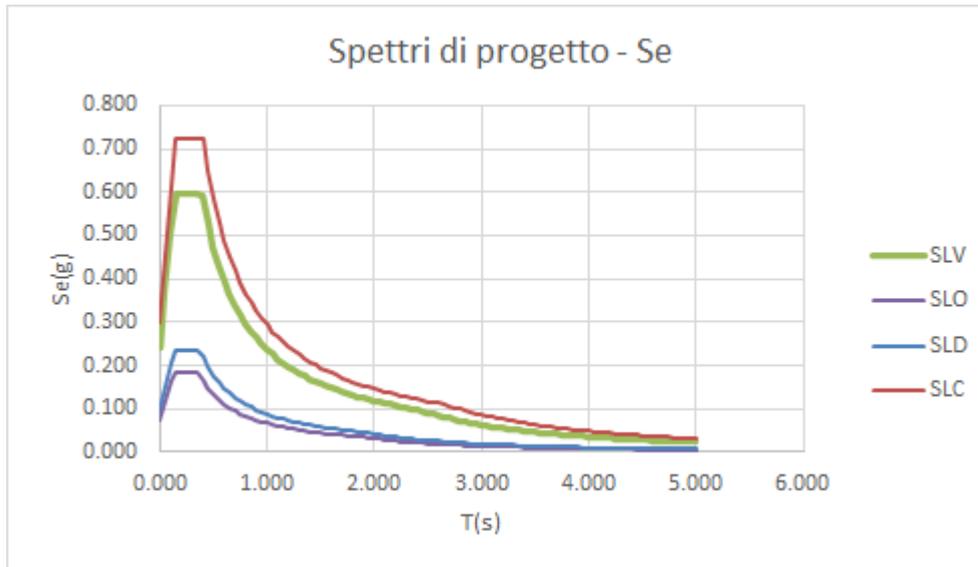
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{se} \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{se} \quad T_D \leq T$$

Di seguito si riportano in figura gli spettri elastici per componente orizzontale, per tutti gli S.L. previsti dalla normativa. Le analisi verranno condotte, come indicato, prendendo in esame lo SLD e lo SLV.



**Figura 6.18 : 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.

Parametri per la definizione dello spettro verticale									
Stato limite	Suolo	Categ. Top.	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub>	S	C <sub>c</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
SLO	B	T1	1.00	1.00	1.00	1.451	0.050	0.150	1.000
SLD	B	T1	1.00	1.00	1.00	1.439	0.050	0.150	1.000
SLV	B	T1	1.00	1.00	1.00	1.420	0.050	0.150	1.000
SLC	B	T1	1.00	1.00	1.00	1.412	0.050	0.150	1.000

**Tabella 6.18 : Parametri per la definizione dello spettro elastico verticale**

In quest'ultima S<sub>s</sub> ed S<sub>T</sub> sono rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione S; T<sub>B</sub> è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente verticale; T<sub>C</sub> è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro della componente verticale; T<sub>D</sub> 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.

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

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

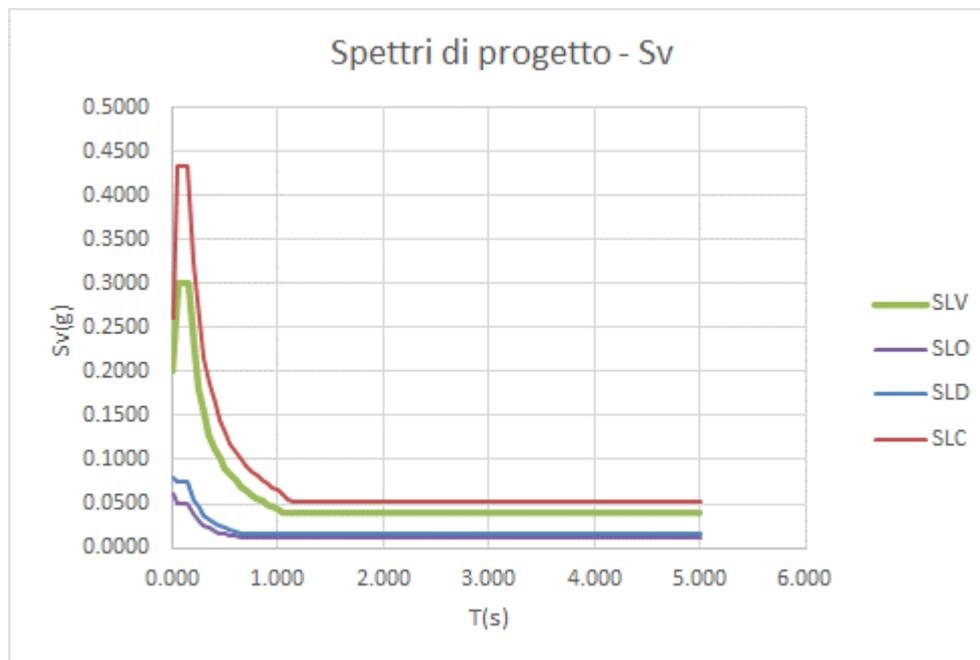
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	45 di 113

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

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

Di seguito si riportano in figura gli spettri elastici per componente orizzontale, per tutti gli S.L. previsti dalla normativa. Le analisi verranno condotte, come indicato, prendendo in esame lo SLD e lo SLV.



**Figura 6.19 : Spettro elastico per la componente verticale**

Come accennato in premessa, le verifiche sismiche verranno condotte con riferimento ad un comportamento “non dissipativo”. Pertanto il fattore di duttilità verrà considerato unitario.

#### 6.2.7.2 Masse partecipanti

Ai fini dell’analisi sismica, in conformità ai criteri indicati da NTC2018, si considerano le seguenti masse attive:

- Pesi propri, finiture e ballast  $M_{(G1, G2, G3)}$
- $\psi M_{(Qk)}$

In cui

$M_{(Qk)}$  = massa afferente alla totalità dei carichi mobili che possono interessare il manufatto (inclusi i relativi coefficienti  $\alpha$  e  $\phi$ )

$$\psi = 0.2$$

Per la struttura in esame, considerando la situazione più sfavorevole riguardante i carichi mobili, si prevede la presenza di un treno SW/2, con le seguente massa associata:

$$M(\text{SW}/2) = 217431 \text{ kg}$$

La massa “sismica” considerata nei calcoli risulta pertanto:

$$M(Q_k) = 0.2 \times (217431) = 43486 \text{ kg}$$

### 6.2.8 Azioni eccezionali

Le azioni eccezionali prese in esame sono quelle inerenti il deragliamento.

#### 6.2.8.1 Deragliamento

Per le azioni da deragliamento si fa riferimento a quanto contenuto in NTC 2018 5.2.2.9.2, considerando direttamente il “caso2”, che viene giudicato, date le caratteristiche complessive della struttura (solettone di caratteristiche pressochè uniformi lungo l’intera larghezza) più gravoso.

Il carico  $q_{a2d}$  verrà disposto alternativamente sui due binari, accostato al lato più esterno a distanza  $1.5 \times s = 2.15 \text{ m}$ , e diffuso secondo le regole indicate in normativa.

Si considera pertanto:

$$q_{a2d} = 80 \times 1.4 = 112 \text{ kN/m} \quad \text{carico lineare}$$

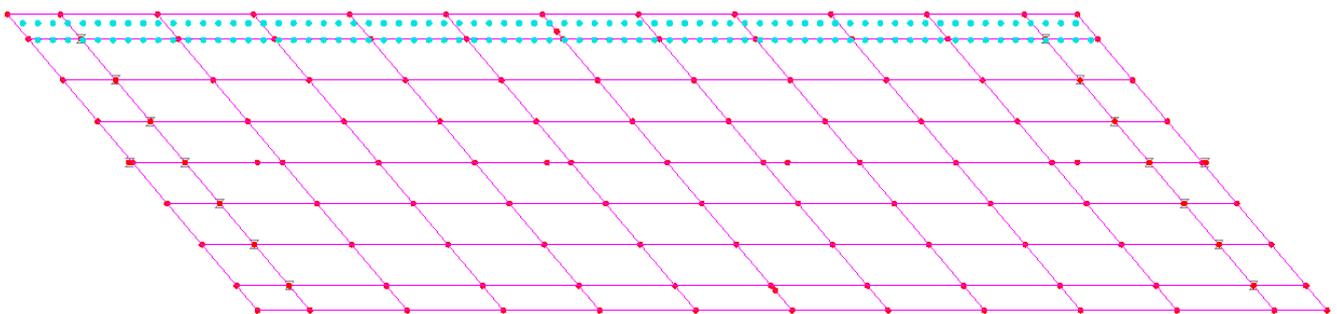
cui corrisponde:

$$q'_{a2d} = 112/0.45 = 248.9 \text{ kN/m}^2 \quad \text{carico per unità di superficie.}$$

La stesa di carico, di lunghezza complessiva pari a 20 m interessa l’intera lunghezza del manufatto.

In figura si riporta la distribuzione dei carichi assunta sul modello, per deragliamento sul binario 1 e risp. binario 2.

Scale: 1: 57.3933  
 Zoom: 99.0099  
 Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
 Linear/dynamic analysis  
 Analysis: 03\_fase3  
 Loadcase: 27:deragliamento\_2\_bin\_1\_sx  
 Results file: SL01\_impalcato\_Interno\_rev3~03\_fase3.mys



**Figura 6.20 Deragliamento - caso 2**

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

### 6.2.8.2 Urto al di sotto del ponte

L'urto non viene preso in considerazione in quanto la struttura si trova all'interno dell'impalcato.

### 6.2.9 **Combinazioni di carico**

Ai fini delle verifiche, condotte nell'ambito dei criteri propri delle verifiche agli stati limite, la combinazione delle azioni è effettuata secondo quanto disposto dal D. Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018.

In linea generale, le combinazioni verranno elaborate prendendo di volta in volta ciascuna delle singole azioni variabili come azione dominante come riferimento, ed assegnando gli opportuni valori "di combinazione" alle rimanenti.

In linea generale, si considerano i contributi dettagliati ai punti precedenti, così suddivisi:

- Azioni permanenti (G)
  - o Pesi propri (gk1)
  - o Pesi finiture (gk2)
  - o Peso ballast (gk3)
- Azioni variabili (Q)
  - o Carichi mobili  $Q_k$  (azione multicomponente)
  - o Variazione Termica  $T_k$
  - o Vento  $F_w$
- Azioni sismiche (E)
- Azioni eccezionali (A)

Le verifiche d'esercizio vengono effettuate sulla base dell'involuppo delle combinazioni delle azioni permanenti e delle azioni variabili, ciascuna delle quali viene presa di volta in volta come dominante.

#### 6.2.9.1 Combinazioni per verifiche globali

Di seguito si dettagliano le combinazioni di carico effettivamente utilizzate nelle verifiche, elaborate con riferimento ai criteri contenuti in NTC2018 2.5.3. (criteri generali) e NTC2018 5.2.3.2 (coefficienti per verifiche strutture in ambito ferroviario).

#### **S.L.U. – STR (A1)**

Si considera, nell'ambito dello S.L.U. (STR) l'involuppo delle seguenti combinazioni base.

S.L.U. -  $Q_k$  dominante

$$S_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{G3} G_{k3} + \gamma_{q,1} Q_{k,gr1/3} + \gamma_{q,2} 0.6 T_k + \gamma_{q,3} 0.6 F_{w,k}$$

Per  $Q_{k,gr1/2}$  si intende l'involuppo delle sollecitazioni, elaborato sulla base dei carichi di gruppo 1 e 2

S.L.U. -  $T_k$  dominante

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	48 di 113

$$S_d = \gamma_{G1} G_k + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{G3} G_{k,3} + \gamma_{sett.} G_{ksett.} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,2} T_k + \gamma_{q,1} 0.8 \times Q_{k,gr1/3} + \gamma_{q,2} 0.6 F_{w,k} (***)$$

 S.L.U. -  $F_{wk}$  dominante

$$S_d = \gamma_{G1} G_k + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{G3} G_{k,3} + \gamma_{sett.} G_{ksett.} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,3} F_{wk} + \gamma_{q,2} 0.6 T_{k}$$

 Di seguito i coefficienti amplificativi  $\gamma_{fav}$  /  $\gamma_{unfav}$ :

 $\gamma_{G1}$  1.35 – 1 coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso proprio

 $\gamma_{G2}$  1.35 – 1 coefficiente moltiplicativo sovraccarichi delle finiture ed altre opere di arredo (\*)

 $\gamma_{G3}$  1.5 – 1 coefficiente moltiplicativo per il sovraccarico da ballast

 $\gamma_{Q1}$  1.45 – 0 coefficiente moltiplicativo applicato ai modelli di carico mobile (\*\*)
 $\gamma_{Q2}$  1.5 coefficiente moltiplicativo per i carichi di origine termica.

 $\gamma_{Q3}$  1.5 coefficiente moltiplicativo per i carichi da vento

(\*) I sovraccarichi permanenti afferenti all'arredo stradale (pavimentazione, barriere e finiture varie) sono inquadrati come "sovraccarico permanente compiutamente definito".

 (\*\*) con  $Q_k$  si indica il valore derivante dall'inviluppo delle azioni multicomponenti applicate al manufatto nell'ambito dei gruppi di carico 1 e 3

 (\*\*\*) nell'ambito della combinazione con  $F_w$  presa come azione – base, il coefficiente di combinazione dell'azione multicomponente da traffico risulta pari a 0 (NTC2018 5.2.3.2.1. nota2). Per semplicità, ed a favore di sicurezza, il valore di  $F_w$  risulta sempre riferito alla condizione di "vento a ponte carico".

### S.L.E. - caratteristica

Si considera l'inviluppo le seguenti combinazioni base:

 S.L.E. caratteristica -  $Q_k$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k3} + G_{k3.} + Q_{k,gr3/4} + 0.6 T_k + 0.6 F_{w,k} (*)$$

 S.L.E. caratteristica -  $T_k$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k3} + G_{k3.} + T_k + 0.8 Q_{k,gr1/3} + 0.6 F_{w,k}$$

 S.L.E. caratteristica -  $F_{wk}$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k3} + F_{wk} + 0.6 T_{k} (**)$$

 (\*) con  $Q_k$  si indica il valore derivante dall'inviluppo delle azioni multicomponenti applicate al manufatto nell'ambito dei gruppi di carico 1 e 3

 (\*\*) nell'ambito della combinazione con  $F_w$  presa come azione – base, il coefficiente di combinazione dell'azione multicomponente da traffico risulta pari a 0 (NTC2018 5.2.3.2.1. nota2). Per semplicità, ed a favore di sicurezza, il valore di  $F_w$  risulta sempre riferito alla condizione di "vento a ponte carico".

### S.L.U. - sismica

Ai fini delle verifiche in fase sismica, si considera la combinazione derivata dalla somma degli effetti della S.L.E. quasi permanente e delle azioni sismiche, ovvero:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k3} + G_{ksett.} + G_{sh} + 0.5 T_k + E_d$$

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST</b>					
	Relazione di calcolo impalcato interno	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 01 00 003	REV. A

$E_d$  rappresenta l'effetto sismico risultante dalla combinazione dell'azione sismica nelle tre direzioni longitudinale (lg), trasversale (trv) e verticale (vert), preventivamente elaborata con riferimento alla seguente regola:

$$E_{d,lg \text{ dominante}} = E_{d,lg} + 0.3 E_{d,trv} + 0.3 E_{d,vert}$$

$$E_{d,trv \text{ dominante}} = E_{d,trv} + 0.3 E_{d,lg} + 0.3 E_{d,vert}$$

L'azione caratterizzata di sisma verticale dominante non verrà presa in esame, perché di scarso significato, date le caratteristiche della struttura.

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  $\gamma_{fav}$ ,  $\gamma_{unfav}$  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 in funzione delle varie azioni variabili dominanti.

L'estrazione della situazione più sfavorevole verrà effettuata invilupando, nell'ambito dello S.L. considerato, le singole combinazioni  $Q_k$  dominante /  $F_w$  dominante /  $T_k$  dominante.

#### **A – eccezionali**

Ai fini delle verifiche delle situazioni eccezionali (Urto e deragliamento), si considereranno i valori caratteristici dei sovraccarichi permanenti, combinati con i valori nominali delle azioni eccezionali esaminate.

#### **6.2.9.2 Combinazioni per verifiche locali**

Ai fini delle verifiche dello sbalzo, si studieranno i seguenti S.L.

- S.L.U. caratteristico
- S.L.E. caratteristico

In questo caso, le azioni variabili dominanti sono costituite da:

- $Q_k$  – sovraccarico sul marciapiede
- $F_w$  – vento su barriera antirumore laterale

Per i coefficienti  $\gamma$  e  $\psi$  utilizzati si rimanda al punto precedente.

### **6.3 Analisi strutturale impalcato**

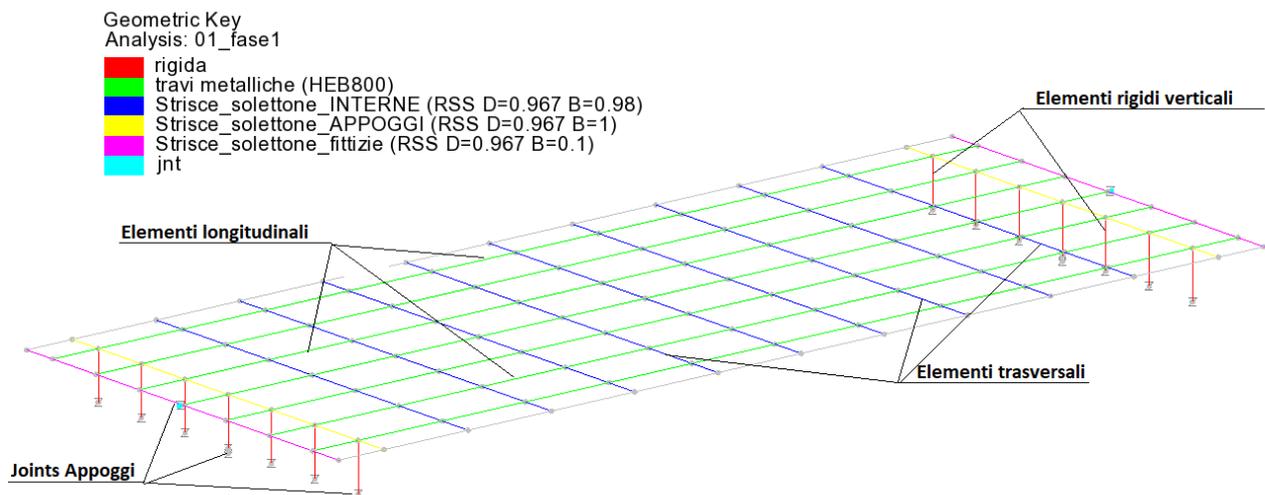
#### **6.3.1 *Modellazione F.E.M.***

##### **6.3.1.1 Generalità**

Come accennato nel capitolo di inquadramento metodologico, il calcolo delle sollecitazioni viene effettuato con riferimento ad una modellazione a grigliato elaborata tramite elementi "beam" lineari a due nodi, tipo "BMI21". I dispositivi di vincolo verranno modellati tramite elementi unidimensionali tipo joint "jnt" a 6 g.d.l., ai quali verrà assegnata l'opportuna rigidità traslazionale e/o rotazionale.

La discretizzazione dell'impalcato prevede il tracciamento dei 7 allineamenti longitudinali delle travi metalliche, che verranno collegati trasversalmente da elementi trasversali equivalenti allo spessore del solettone, di larghezza pari a circa 1.00 m. Nelle zone di estremità l'ampiezza equivalente verrà ridotta, in modo da tracciare un elemento "di bordo", che avrà larghezza di 10 cm, ed un elemento posto a cavallo dell'asse appoggi, di larghezza nominale sempre circa 1.00m.

La figura seguente riporta la mesh in maniera schematica e renderizzata



**Figura 6.21 Mesh E.F.**

Il modello prevede la sovrapposizioni di una serie di analisi lineari indipendenti, ciascuna afferente alle singole "fasi" in cui si idealizza lo sviluppo della vita della struttura.

Per il riepilogo dei dettagli di ciascuna fase, si rimanda al cap. "Modalità generali di calcolo e verifica".

### 6.3.1.2 Definizione delle proprietà dei vincoli

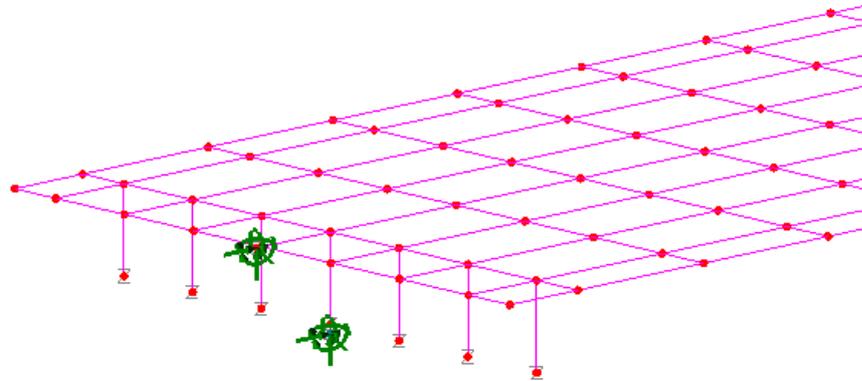
I vincoli a terra sono rappresentati da un joint "rigido", posizionato in corrispondenza del baricentro di dispositivi di appoggio. Tale joint collega rigidamente, attraverso "constraints" rigidi le basi dei singoli dispositivi di appoggio.

Per la modellazione delle proprietà meccaniche dei dispositivi elastomerici, si sono assunti i valori indicati in premessa:

$$k_x = k_y = 1.9 \text{ e}6 \text{ N/m}$$

$$k_z = 1.9 \text{ e}9 \text{ N/m}$$

I gradi di libertà rotazione prevedono rigidità nulla.


**Figura 6.22 posizione vincoli a terra**

### 6.3.1.3 Definizione delle caratteristiche geometriche travi principali

Le caratteristiche geometriche degli elementi longitudinali composti sono valutate con riferimento alle proprietà dell'acciaio, impiegando gli opportuni coefficienti di omogeneizzazione  $n = E_c/E_s$ .

Si sottolinea che la collaborazione con il calcestruzzo viene considerata unicamente ai fini dell'implementazione del modello ed alla deduzione delle sollecitazioni di verifica, mentre essa verrà integralmente trascurata, come prescritto dal MDP per le verifiche di resistenza delle travi.

Qui di seguito il calcolo dei coefficienti di omogeneizzazione.

Si assumono le seguenti proprietà base dell'acciaio da carpenteria e del calcestruzzo:

$$E_s = 210000 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 33346 \text{ Mpa}$$

Per il comportamento al lungo termine, con riferimento a quanto contenuto in EN 1992-1-1, si considera il coefficiente di viscosità calcolato come segue:

#### Valutazione coefficienti di viscosità (annex B EN 1992-1-1)

	$h_o$	967 mm	
$\alpha_1$		0.911	B.8c
$\alpha_2$		0.974	B.8c
$\alpha_3$		0.935	B.8c
$\alpha$		0	B.9
$\beta(f_{cm})$		2.66	B.4
$\beta_h$		1403.12	B.8a / B.8b
$\varphi_{RH}$		<b>1.198</b>	B.3a / B.3b
	$t_{01}$		
$t_{01}$		<b>30</b>	
$t_{01,mod}$		30	
$\beta(t_0)$		0.482	

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	52 di 113

$\varphi_0$  1.534  
 $\varphi(t_0, t_\infty)$  1.509

**Tabella 6.19 Calcolo coefficiente di viscosità**

Si ha pertanto:

$$E_{c\infty} = E_{c0} / (1 + \psi_1 \varphi_\infty) = 12534 \text{ MPa}$$

 Con  $\psi_1 = 1.10$  per gli effetti dei sovraccarichi permanenti

Le sezioni acciaio / calcestruzzo verranno pertanto omogeneizzate impiegando i seguenti coefficienti:

$$n_0 = 1/6.3$$

$$n_\infty = 1/16.75$$

Per tutte le travi si assume un'ampiezza collaborante pari all'interasse nominale delle travi e = 0.55 trascurando, a favore di sicurezza, l'eccedenza di 5.5cm su ambo i lati.

Le tabelle seguenti riportano le proprietà geometriche delle travi longitudinali impiegate nell'ambito delle varie analisi.

**Fase 1 (profilo HEB800)**

Area	A	0.033418
Second moment of area about x axis	Ixx	3.59E-03
Second moment of area about y axis	Iyy	1.49E-04
Product moment of area	Ixy	-9.14E-20
Torsional constant	J	1.03E-05
Effective shear area in y direction	Asy	0.013642
Effective shear area in x direction	Asx	0.017899
Radius of gyration about x axis	kx	0.327985
Radius of gyration about y axis	ky	0.066785
Shear centre, distance from centroid along x axis	xo	6.94E-07
Shear centre, distance from centroid along y axis	yo	4.77E-09
Warping torsional constant about shear centre	Cw	2.16E-05
Plastic neutral axis, distance from centroid along x axis	xp	7.35E-07
Plastic neutral axis, distance from centroid along y axis	yp	-5.55E-17
Plastic section modulus about x axis	Zpx	0.01024
Plastic section modulus about y axis	Zpy	1.55E-03
Plastic torsional section modulus	Zpt	3.59E-04
Angle to principal axis (anticlockwise +ve)	Theta	0
Monosymmetry constant about x	betax	-9.63E-09
Monosymmetry constant about y	betay	1.92E-04

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	53 di 113

**Fase 2 – lungo termine**

<b>Travi correnti - omog. Acciaio - lungo termine (n=1/16.75)</b>	bcoll	550
Area	A	0.063766
Second moment of area about x axis	Ixx	6.18E-03
Second moment of area about y axis	Iyy	9.45E-04
Product moment of area	Ixy	-6.26E-13
Torsional constant	J	2.42E-03
Effective shear area in y direction	Asy	0.040834
Effective shear area in x direction	Asx	0.042298
Radius of gyration about x axis	kx	0.311402
Radius of gyration about y axis	ky	0.121737
Shear centre, distance from centroid along x axis	xo	2.69E-06
Shear centre, distance from centroid along y axis	yo	0.031726
Warping torsional constant about shear centre	Cw	4.54E-05
Plastic neutral axis, distance from centroid along x axis	xp	3.85E-07
Plastic neutral axis, distance from centroid along y axis	yp	0.053043
Plastic section modulus about x axis	Zpx	0.13348
Plastic section modulus about y axis	Zpy	0.073872
Plastic torsional section modulus	Zpt	0.132791
Angle to principal axis (anticlockwise +ve)	Theta	0
x coordinate of centroid	xc	-3.85E-07
y coordinate of centroid	yc	0.454456
Monosymmetry constant about x	betax	1.19458
Monosymmetry constant about y	betay	1.19E-04

### Fase 3 – breve termine

<b>Travi correnti - omog. Acciaio - breve termine (n=1/6.3)</b>	bcoll	550
Area	A	0.114106
Second moment of area about x axis	Ixx	0.010233
Second moment of area about y axis	Iyy	2.27E-03
Product moment of area	Ixy	-4.65E-13
Torsional constant	J	6.19E-03
Effective shear area in y direction	Asy	0.086
Effective shear area in x direction	Asx	0.089578
Radius of gyration about x axis	kx	0.299465
Radius of gyration about y axis	ky	0.140899
Shear centre, distance from centroid along x axis	xo	1.82E-06
Shear centre, distance from centroid along y axis	yo	0.015363
Warping torsional constant about shear centre	Cw	7.83E-05
Plastic neutral axis, distance from centroid along x axis	xp	2.15E-07
Plastic neutral axis, distance from centroid along y axis	yp	0.026589
Plastic section modulus about x axis	Zpx	0.13348
Plastic section modulus about y axis	Zpy	0.073872
Plastic torsional section modulus	Zpt	0.137811
Angle to principal axis (anticlockwise +ve)	Theta	0
x coordinate of centroid	xc	-2.15E-07
y coordinate of centroid	yc	0.480911
Monosymmetry constant about x	betax	0.348568
Monosymmetry constant about y	betay	4.90E-05

### 6.3.2 Principali risultati

#### 6.3.2.1 Analisi statica

Si riportano nel seguito i diagrammi qualitativi delle sollecitazioni rilevati in corrispondenza degli elementi longitudinali e trasversali. Ulteriori dettagli numerici inerenti le sollecitazioni di progetto vengono presentati nell'ambito dei singoli capitoli.

Si riportano i diagrammi di azione assiale N (Fx), taglio V (Fz) e momento M (My) derivanti dai seguenti involucri:

- S.L.U. Max/min My (M)
- S.L.U. Max/min Fz (V)
- S.L.E. Max/min My (M)
- S.L.E. Max/min Fz (V)

Relazione di calcolo impalcato interno

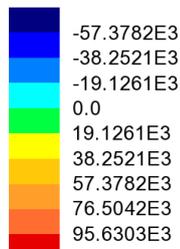
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	55 di 113

- S.L.E\_frequente. Max/min My (M)
- S.L.U.\_frequente Max/min Fz (V)

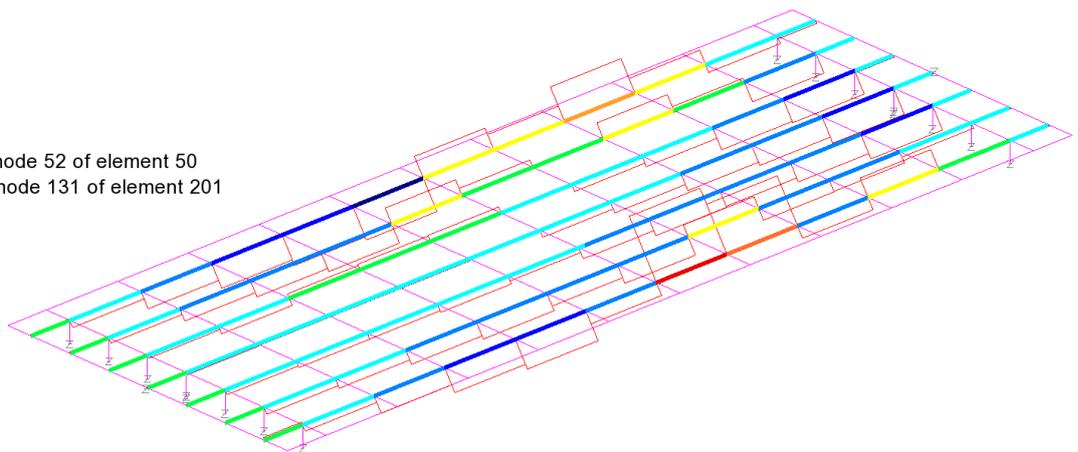
I valori indicati sono afferenti a grandezze “di trave” e sono espressi in N e Nm.

### Elementi longitudinali

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 114.744E3 at node 52 of element 50  
Minimum -57.3902E3 at node 131 of element 201

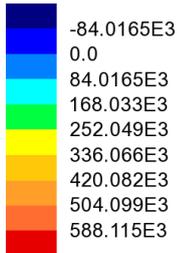


inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Assoc. Fx

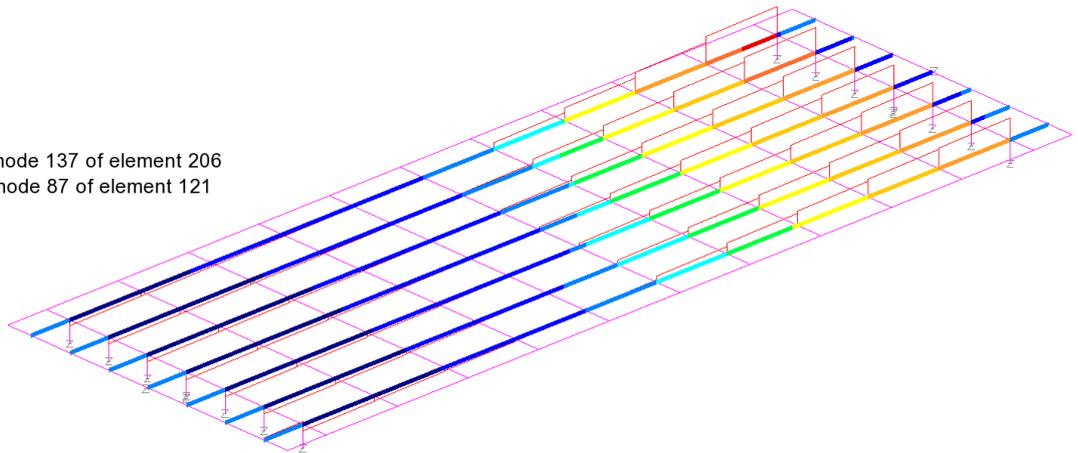
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	56 di 113

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

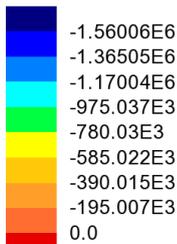


Maximum 602.442E3 at node 137 of element 206  
Minimum -153.706E3 at node 87 of element 121

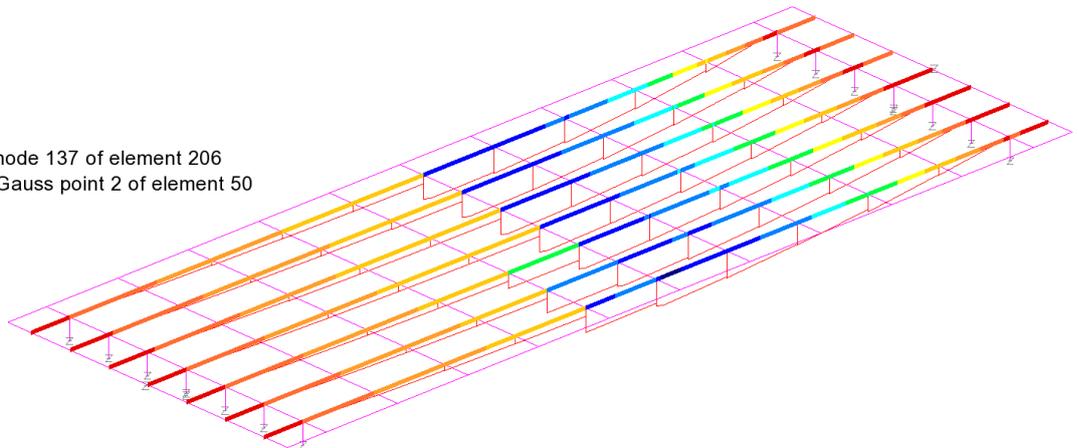


inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Fz

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

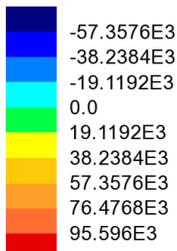


Maximum 152.507E3 at node 137 of element 206  
Minimum -1.60256E6 at Gauss point 2 of element 50

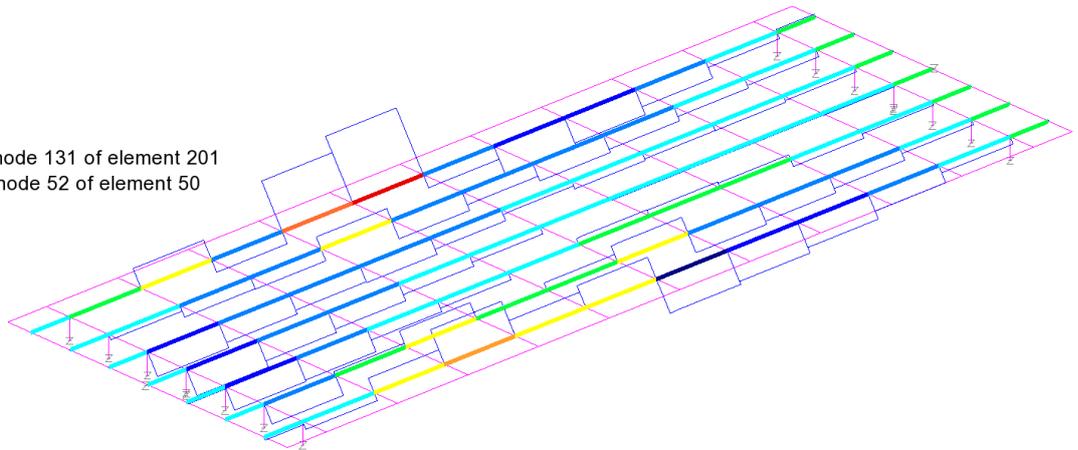


inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Assoc. My

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

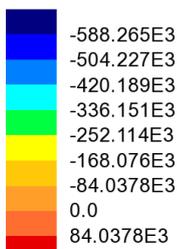


Maximum 113.926E3 at node 131 of element 201  
Minimum -58.1474E3 at node 52 of element 50

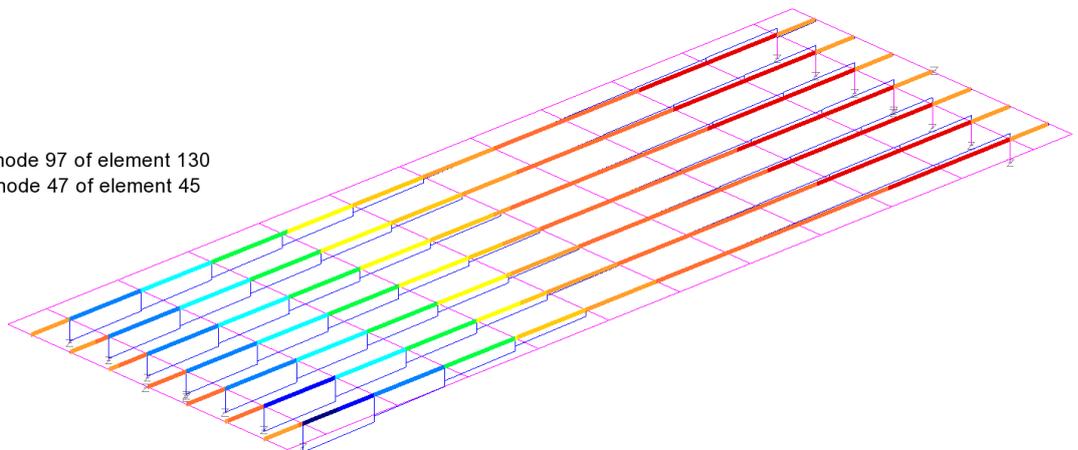


inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Assoc. Fx

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 153.686E3 at node 97 of element 130  
Minimum -602.655E3 at node 47 of element 45

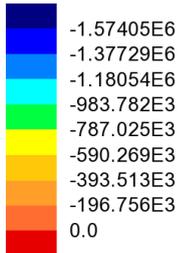


inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Fz

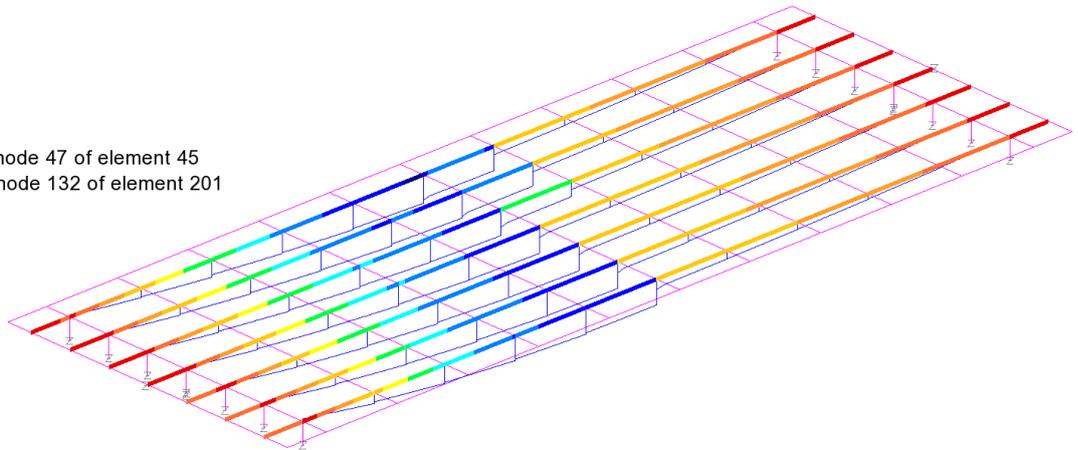
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	58 di 113

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

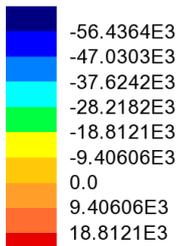


Maximum 152.373E3 at node 47 of element 45  
Minimum -1.61843E6 at node 132 of element 201

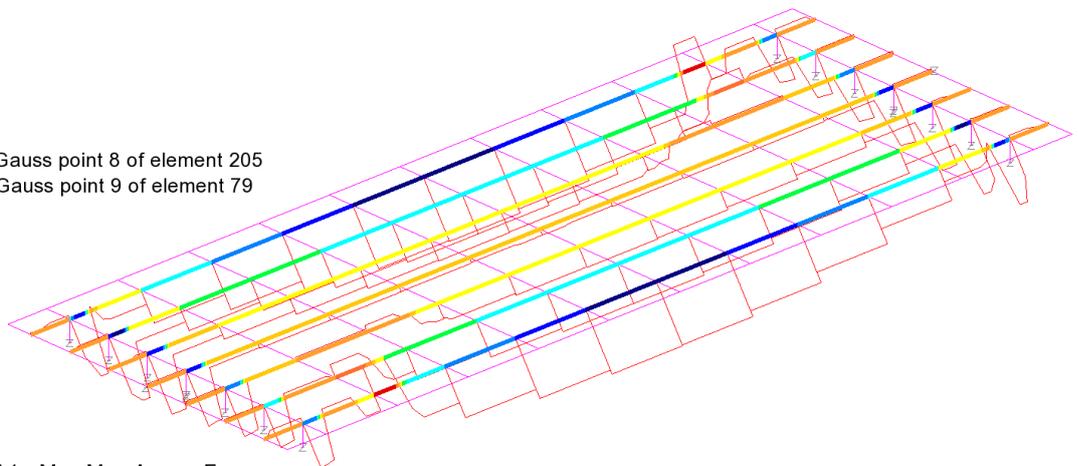


inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Assoc. My

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 24.3752E3 at Gauss point 8 of element 205  
Minimum -60.2793E3 at Gauss point 9 of element 79

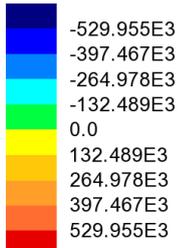


inviluppo S.L.U. A1 - Max My - Assoc. Fx

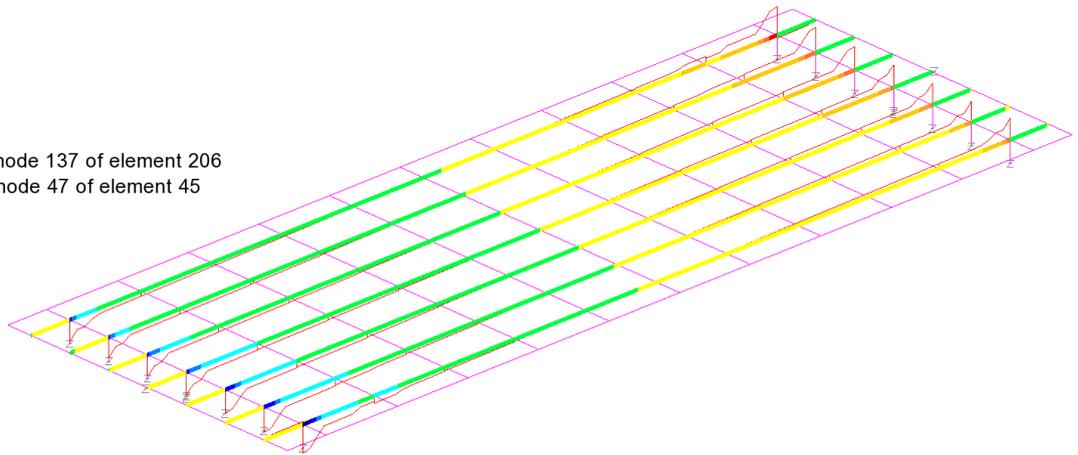
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	59 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

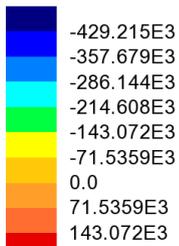


Maximum 596.096E3 at node 137 of element 206  
Minimum -596.303E3 at node 47 of element 45

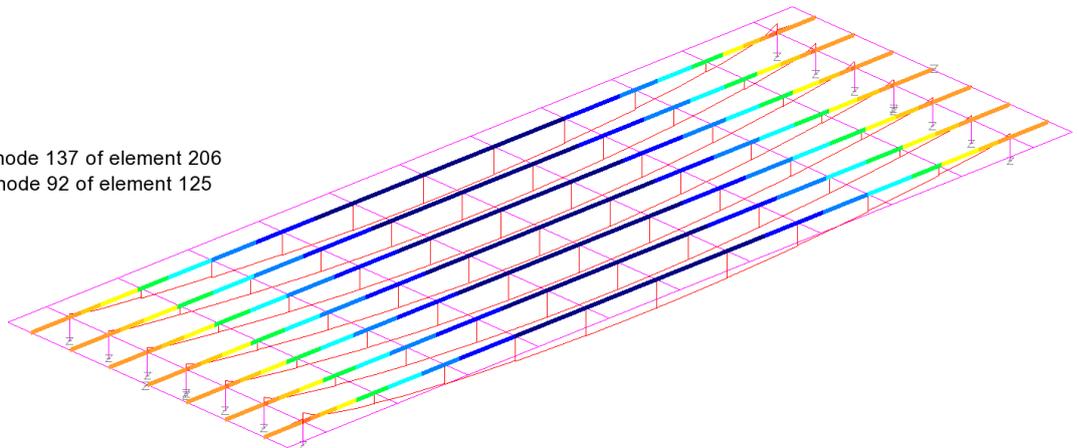


inviluppo S.L.U. A1 - Max My - Assoc. Fz

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 153.994E3 at node 137 of element 206  
Minimum -489.829E3 at node 92 of element 125

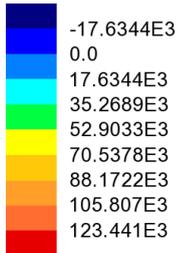


inviluppo S.L.U. A1 - Max My - My

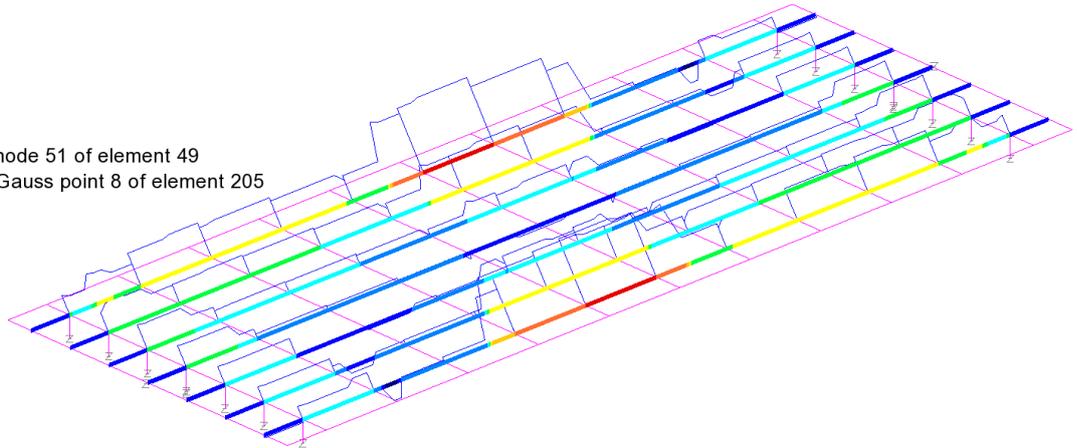
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	60 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

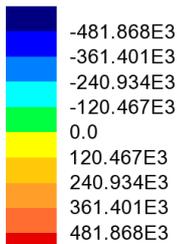


Maximum 128.807E3 at node 51 of element 49  
Minimum -29.9027E3 at Gauss point 8 of element 205

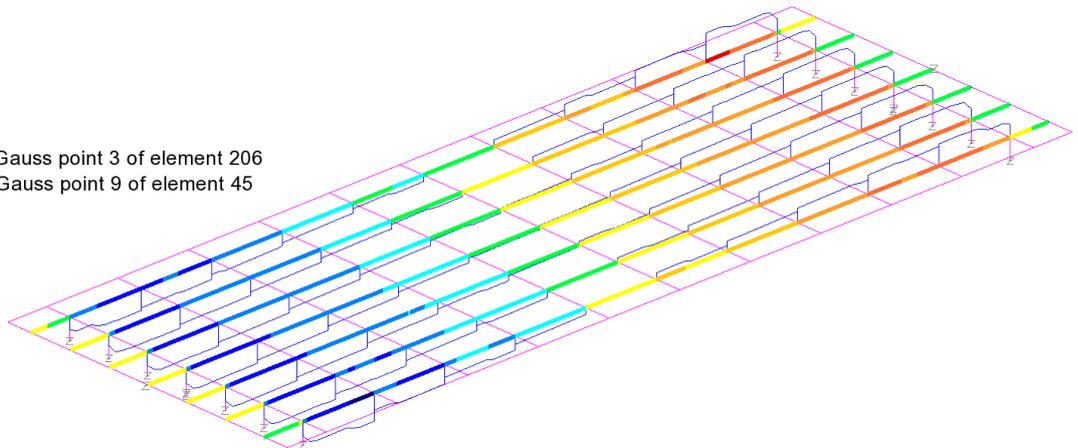


inviluppo S.L.U. A1 - Min My - Assoc. Fx

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 541.959E3 at Gauss point 3 of element 206  
Minimum -542.244E3 at Gauss point 9 of element 45

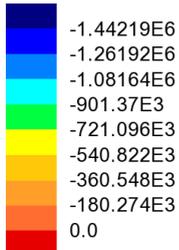


inviluppo S.L.U. A1 - Min My - Assoc. Fz

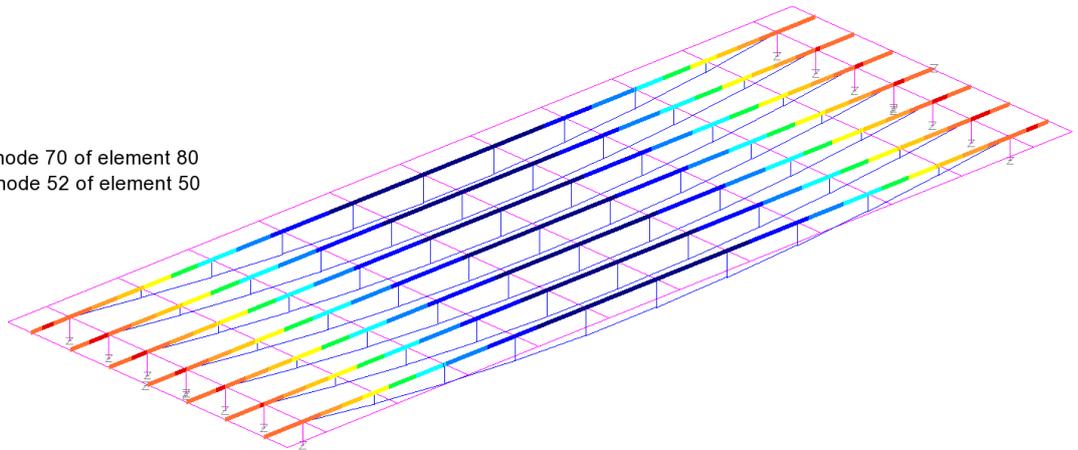
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	61 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

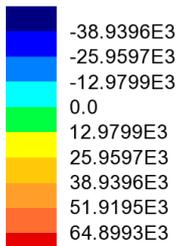


Maximum 3.91614E3 at node 70 of element 80  
Minimum -1.61855E6 at node 52 of element 50

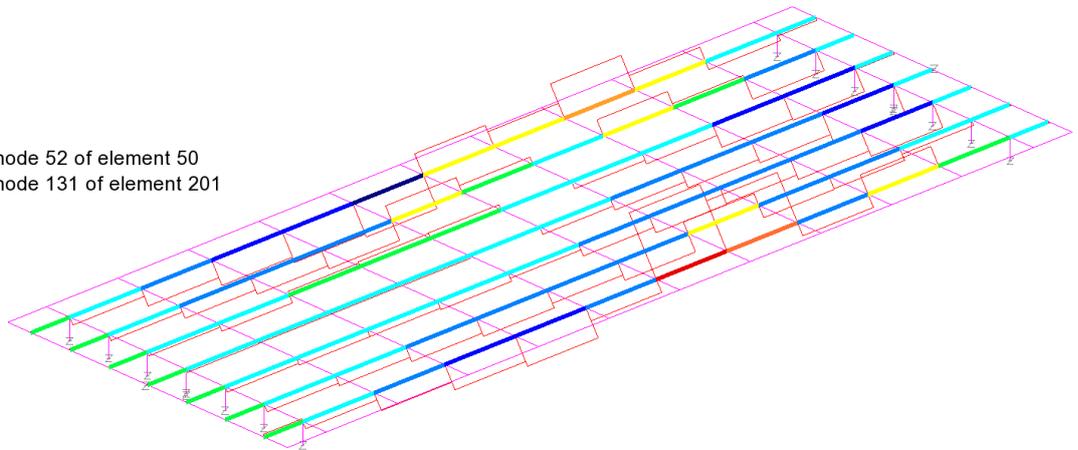


inviluppo S.L.U. A1 - Min My - My

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 77.7056E3 at node 52 of element 50  
Minimum -39.1132E3 at node 131 of element 201

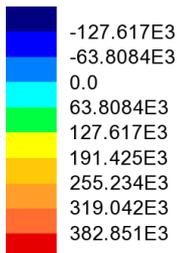


inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Assoc. Fx

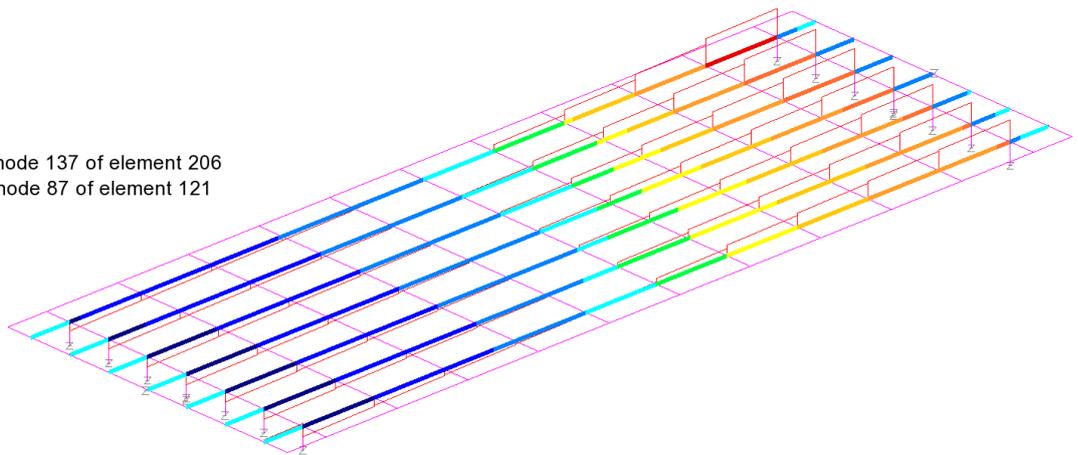
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	62 di 113

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

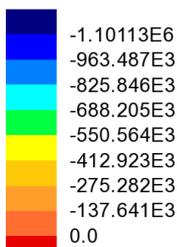


Maximum 420.448E3 at node 137 of element 206  
Minimum -153.828E3 at node 87 of element 121

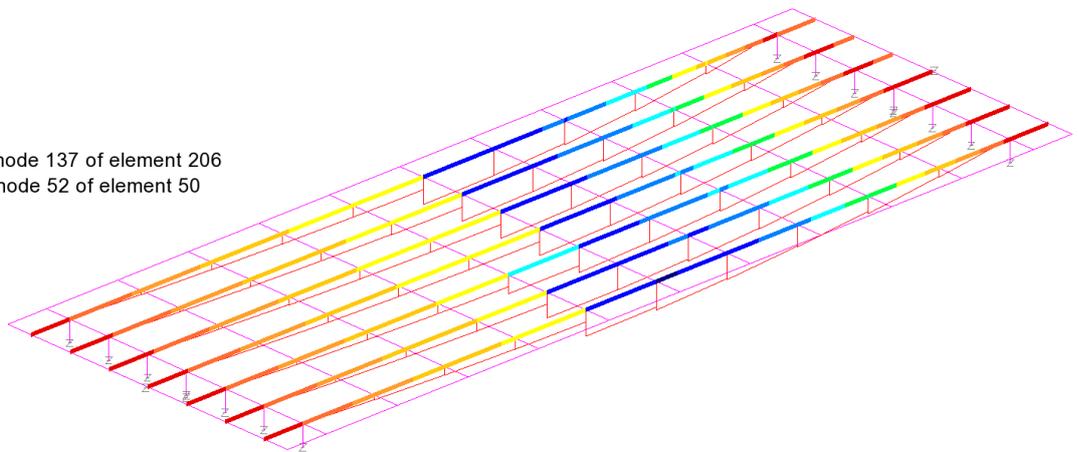


involuppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Fz

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

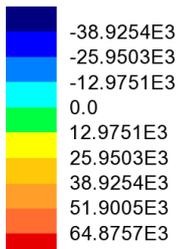


Maximum 104.681E3 at node 137 of element 206  
Minimum -1.13409E6 at node 52 of element 50

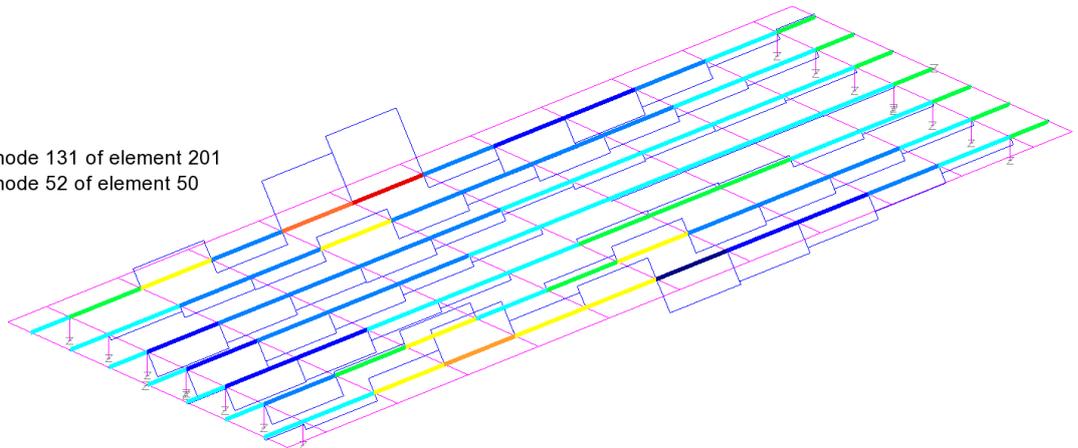


involuppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Assoc. My

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 77.6606E3 at node 131 of element 201  
Minimum -39.1156E3 at node 52 of element 50

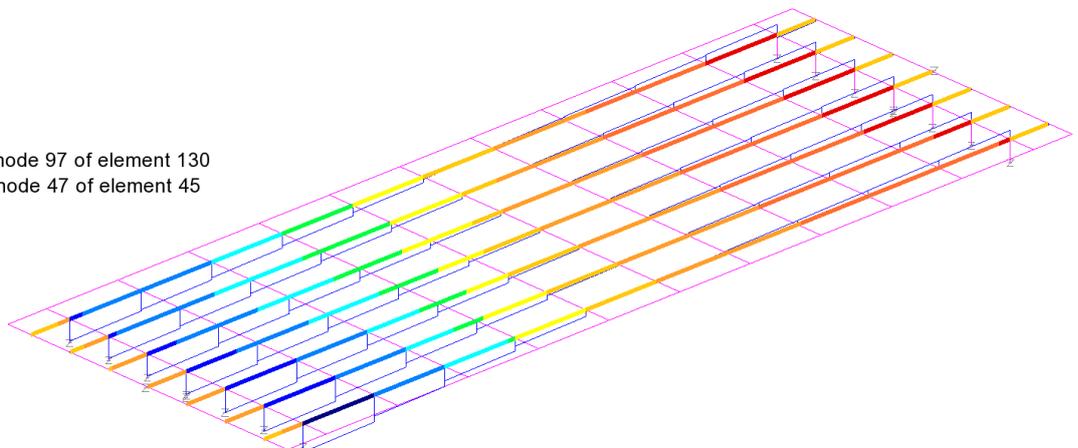


inviluppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Assoc. Fx

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 153.808E3 at node 97 of element 130  
Minimum -420.594E3 at node 47 of element 45

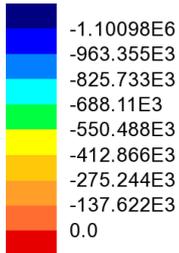


inviluppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Fz

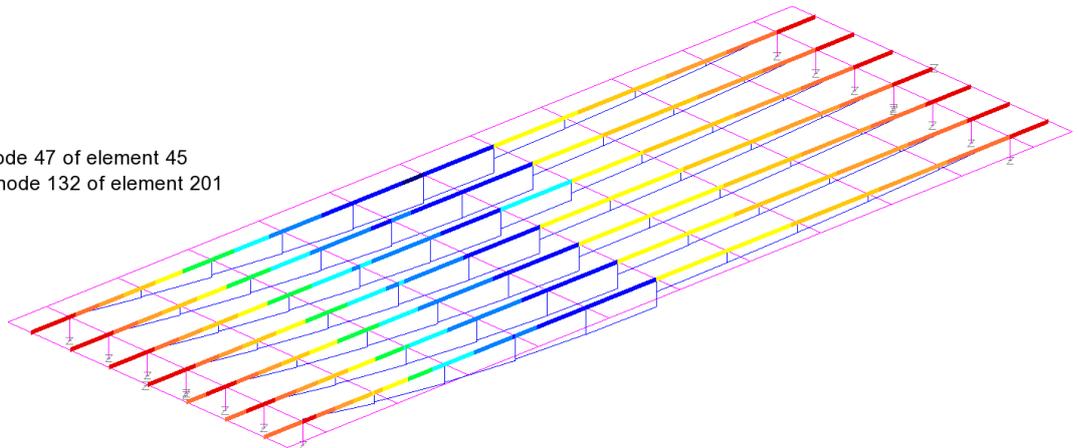
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	64 di 113

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

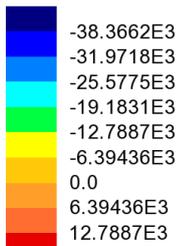


Maximum 104.59E3 at node 47 of element 45  
Minimum -1.13401E6 at node 132 of element 201

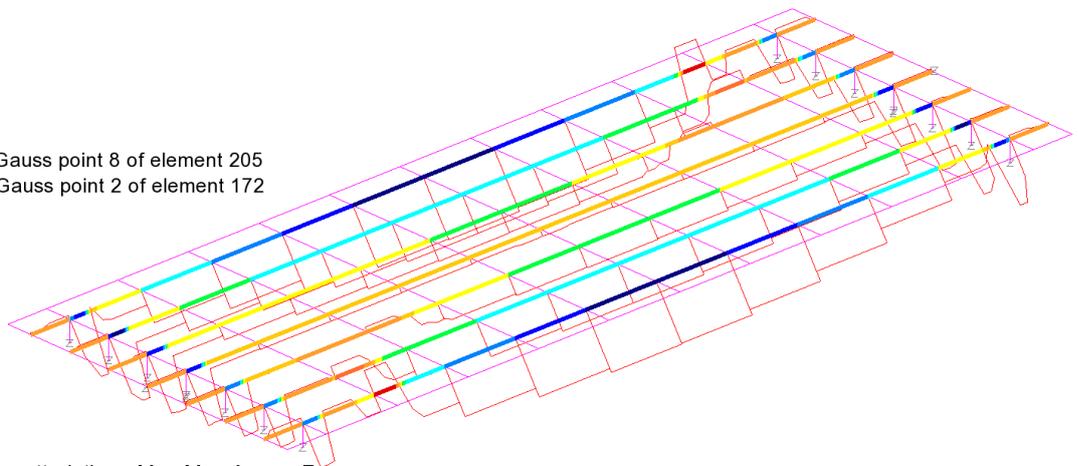


involuppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Assoc. My

Combining on: My  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 15.3754E3 at Gauss point 8 of element 205  
Minimum -42.1739E3 at Gauss point 2 of element 172

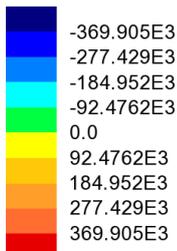


involuppo S.L.E. caratteristica - Max My - Assoc. Fx

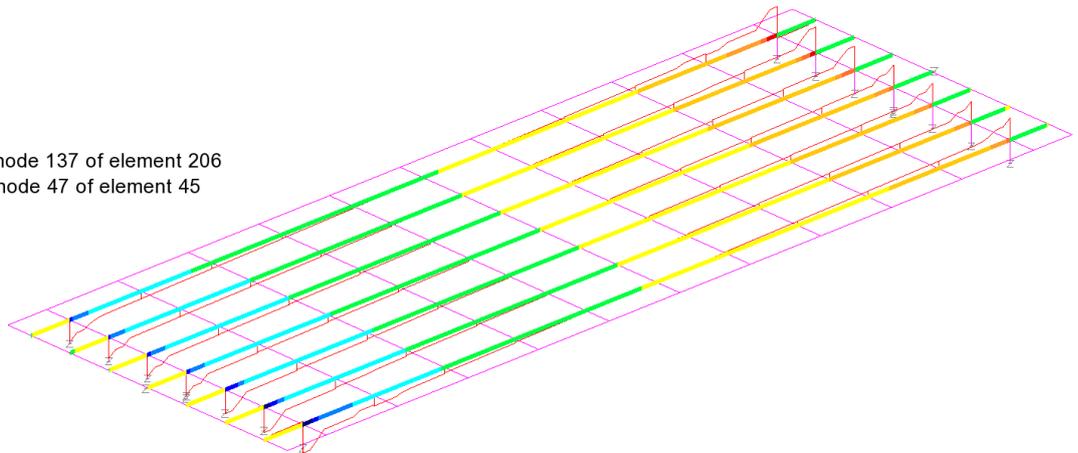
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	65 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

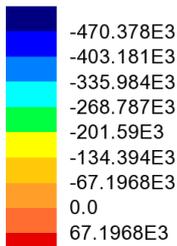


Maximum 416.072E3 at node 137 of element 206  
Minimum -416.214E3 at node 47 of element 45

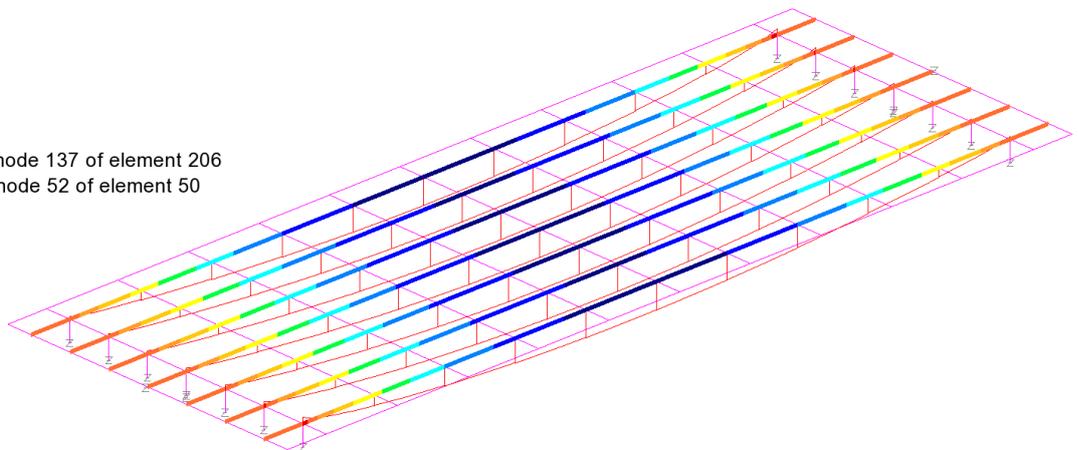


inviluppo S.L.E. caratteristica - Max My - Assoc. Fz

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 105.707E3 at node 137 of element 206  
Minimum -499.065E3 at node 52 of element 50

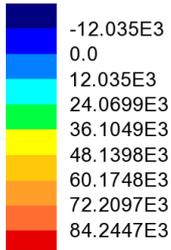


inviluppo S.L.E. caratteristica - Max My - My

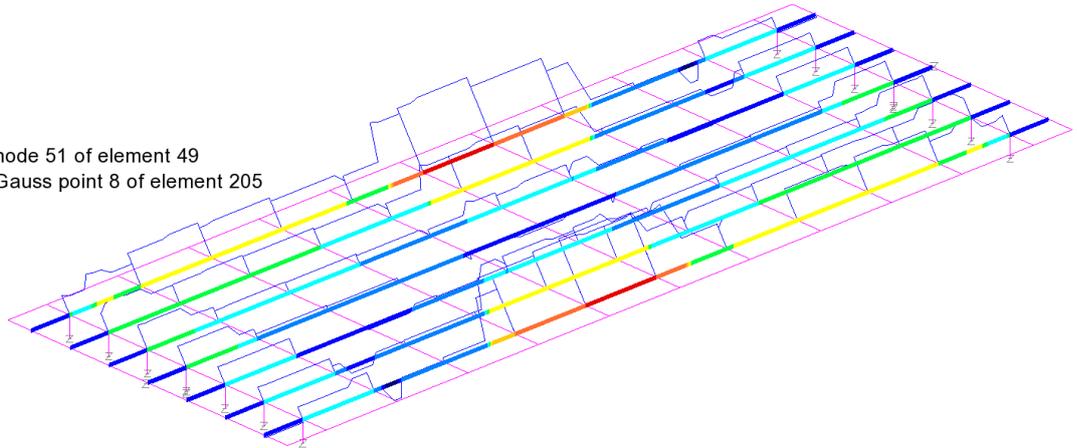
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	66 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

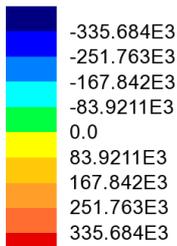


Maximum 87.9135E3 at node 51 of element 49  
Minimum -20.4011E3 at Gauss point 8 of element 205

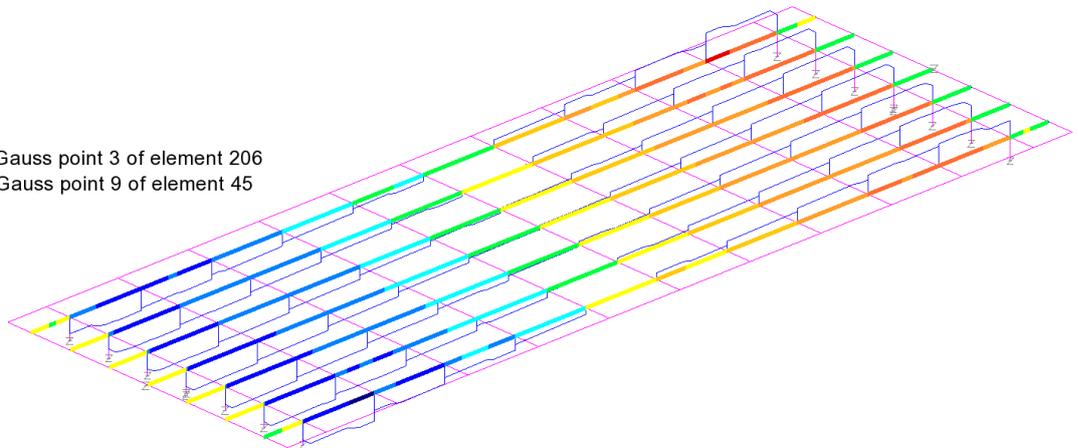


inviluppo S.L.E. caratteristica - Min My - Assoc. Fx

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 377.545E3 at Gauss point 3 of element 206  
Minimum -377.744E3 at Gauss point 9 of element 45



inviluppo S.L.E. caratteristica - Min My - Assoc. Fz

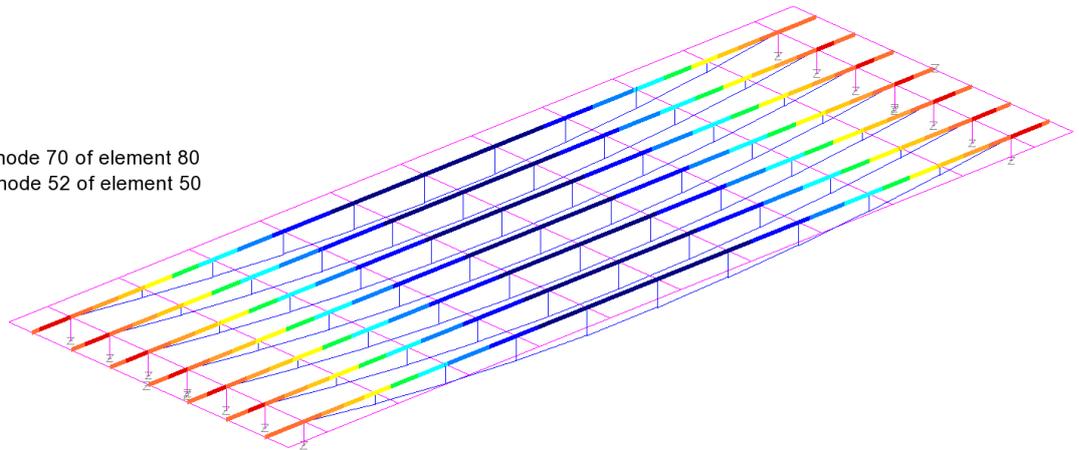
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	67 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



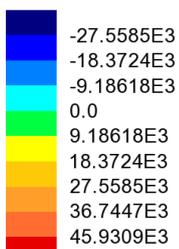
Maximum 4.64927E3 at node 70 of element 80  
Minimum -1.13409E6 at node 52 of element 50



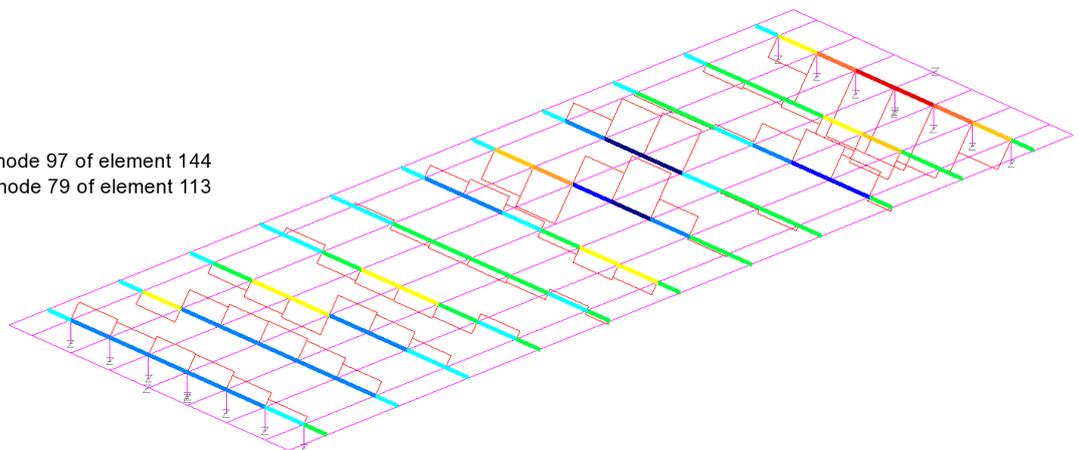
inviluppo S.L.E. caratteristica - Min My - My

## Elementi trasversali

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

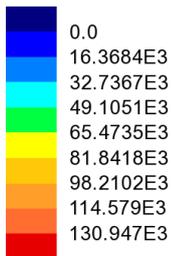


Maximum 48.7317E3 at node 97 of element 144  
Minimum -33.9439E3 at node 79 of element 113

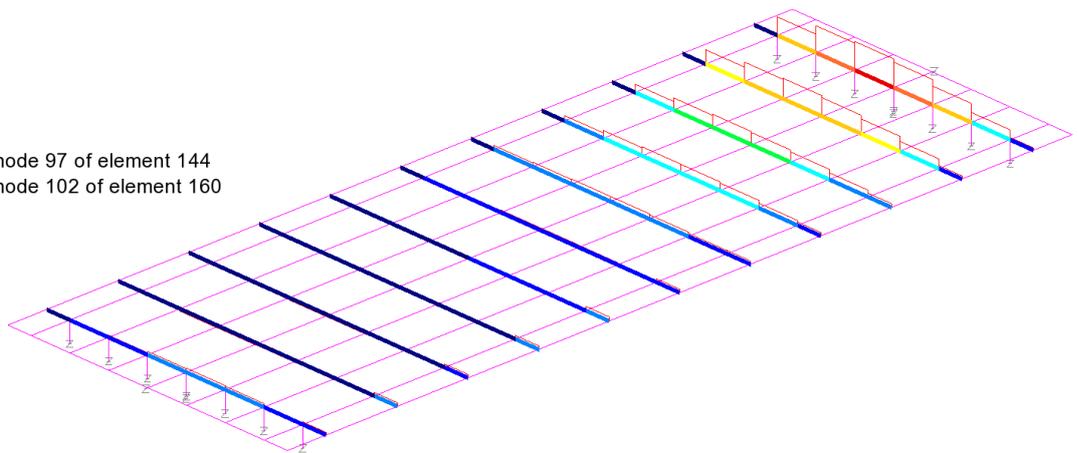


inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Assoc. Fx

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

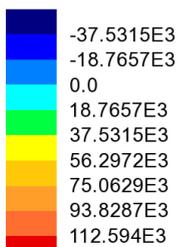


Maximum 135.647E3 at node 97 of element 144  
Minimum -11.6679E3 at node 102 of element 160

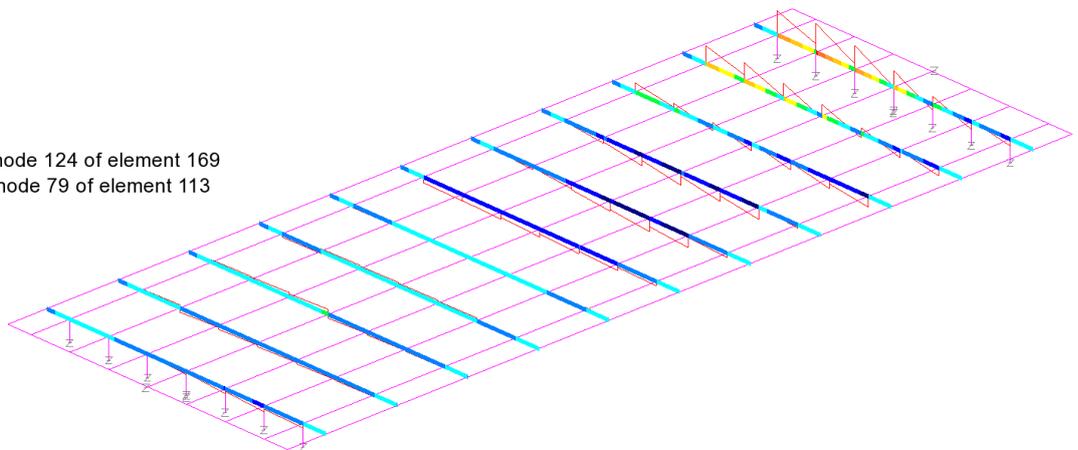


inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Fz

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

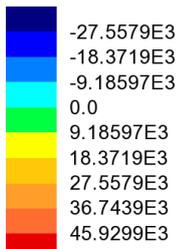


Maximum 115.361E3 at node 124 of element 169  
Minimum -53.5305E3 at node 79 of element 113

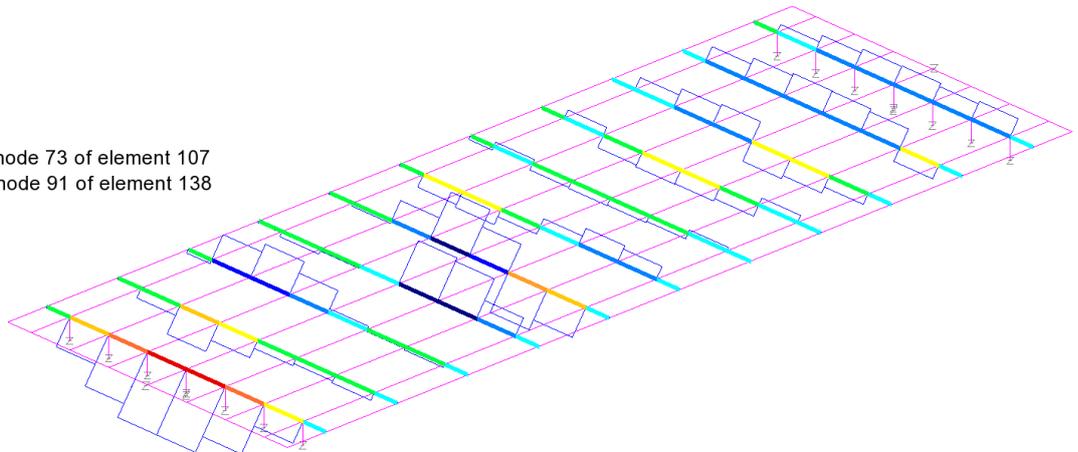


inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Assoc. My

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

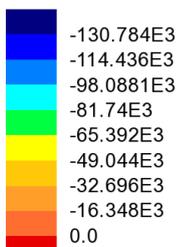


Maximum 48.7312E3 at node 73 of element 107  
Minimum -33.9425E3 at node 91 of element 138

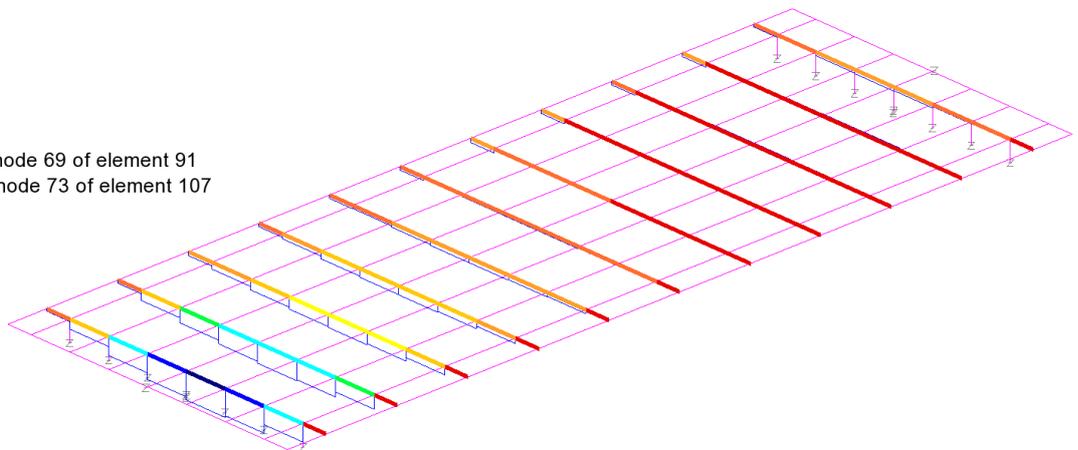


inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Assoc. Fx

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 11.6782E3 at node 69 of element 91  
Minimum -135.454E3 at node 73 of element 107

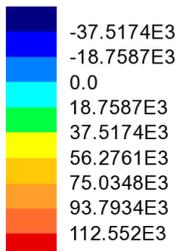


inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Fz

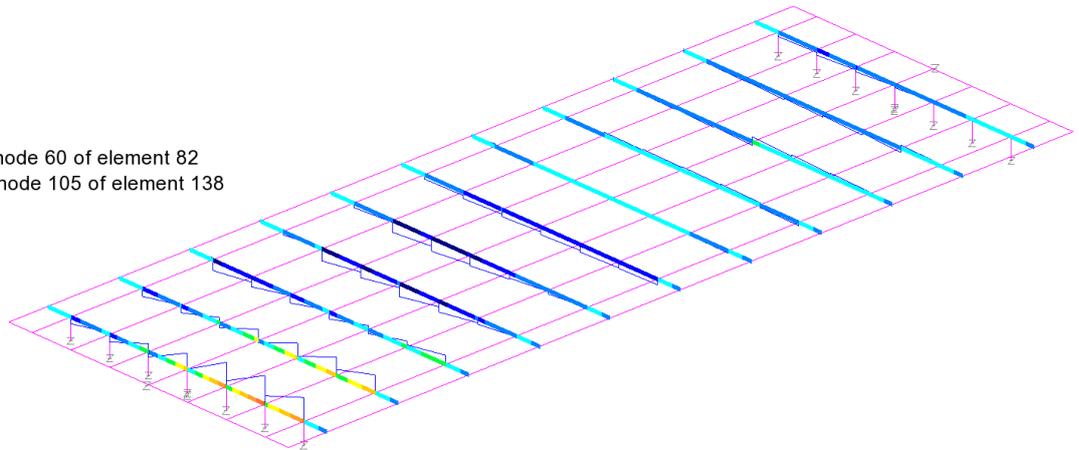
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	70 di 113

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

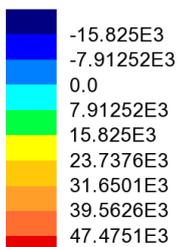


Maximum 115.261E3 at node 60 of element 82  
Minimum -53.5671E3 at node 105 of element 138

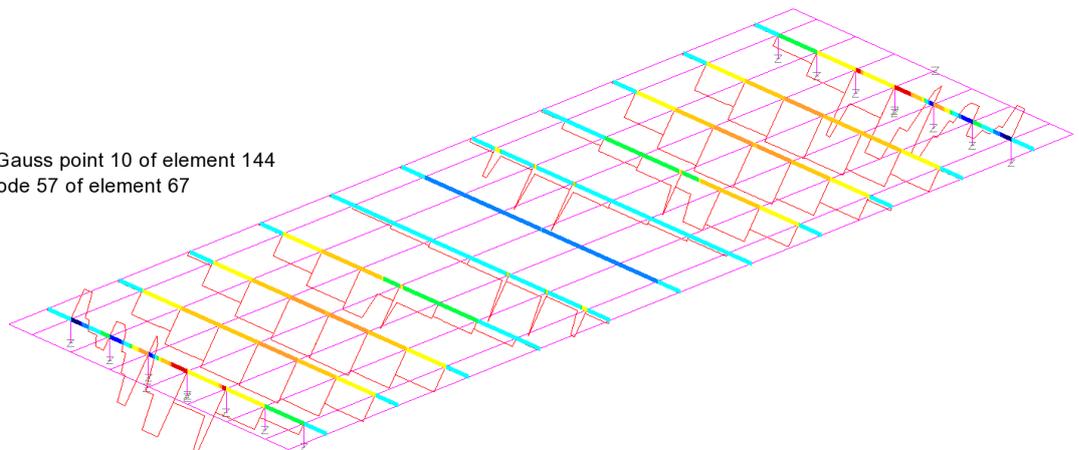


inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Assoc. My

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 48.7317E3 at Gauss point 10 of element 144  
Minimum -22.481E3 at node 57 of element 67

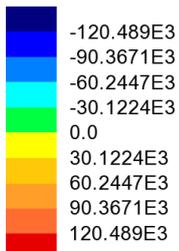


inviluppo S.L.U. A1 - Max My - Assoc. Fx

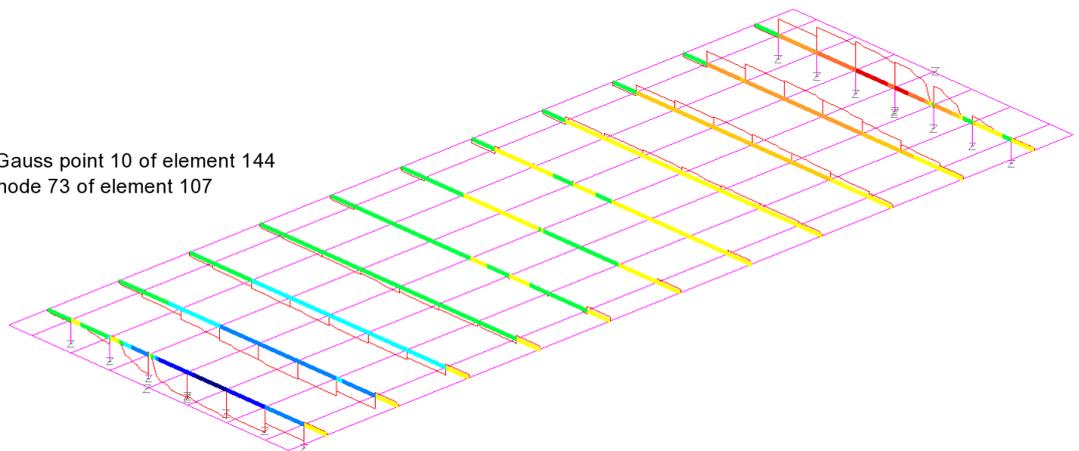
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	71 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

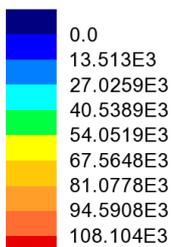


Maximum 135.647E3 at Gauss point 10 of element 144  
Minimum -135.454E3 at node 73 of element 107

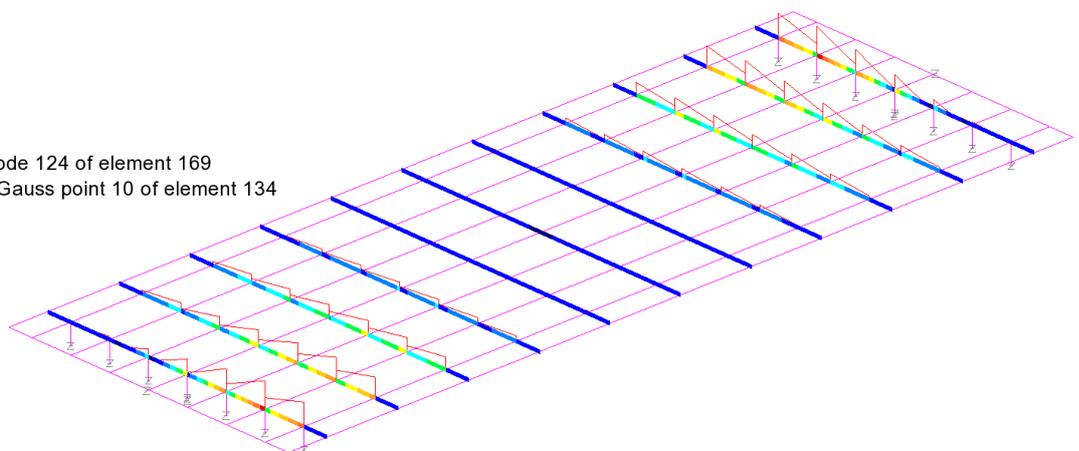


inviluppo S.L.U. A1 - Max My - Assoc. Fz

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 120.02E3 at node 124 of element 169  
Minimum -1.59629E3 at Gauss point 10 of element 134

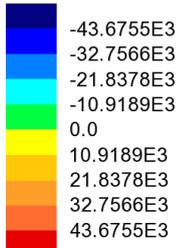


inviluppo S.L.U. A1 - Max My - My

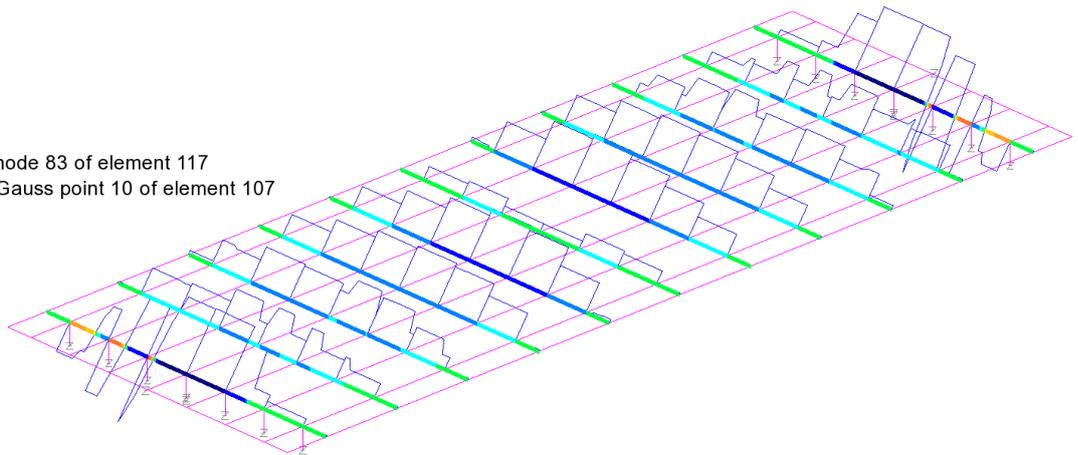
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	72 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

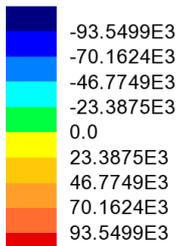


Maximum 48.8653E3 at node 83 of element 117  
Minimum -49.4046E3 at Gauss point 10 of element 107

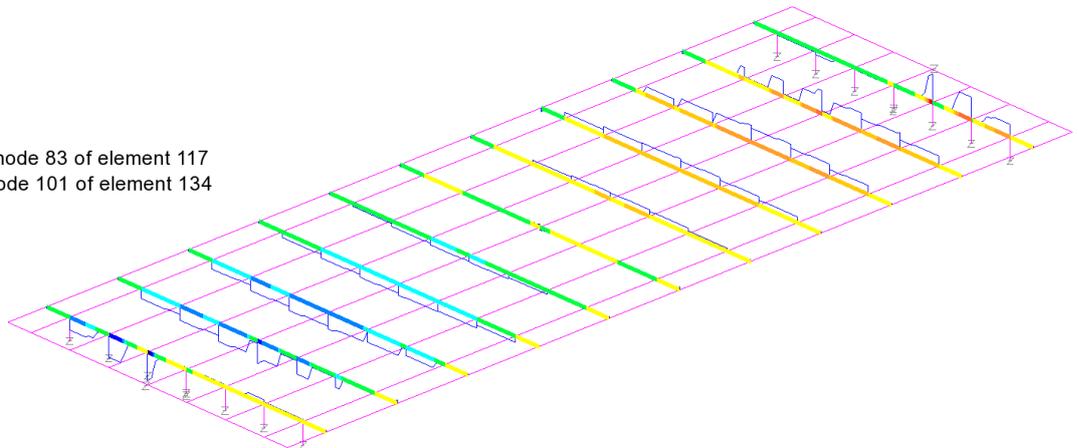


inviluppo S.L.U. A1 - Min My - Assoc. Fx

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 105.337E3 at node 83 of element 117  
Minimum -105.15E3 at node 101 of element 134

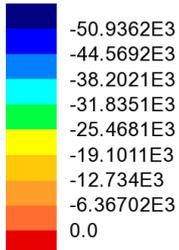


inviluppo S.L.U. A1 - Min My - Assoc. Fz

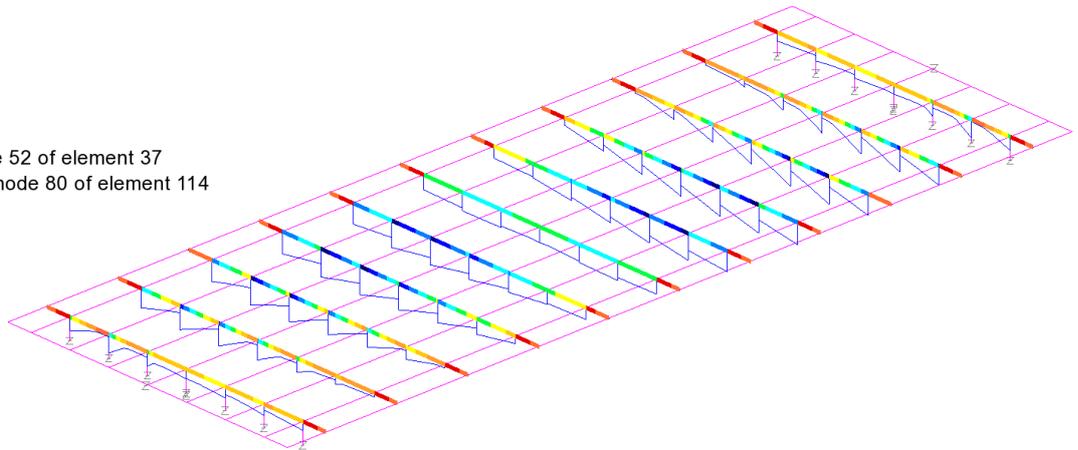
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	73 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

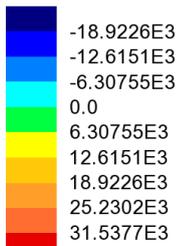


Maximum 442.14 at node 52 of element 37  
Minimum -56.8611E3 at node 80 of element 114

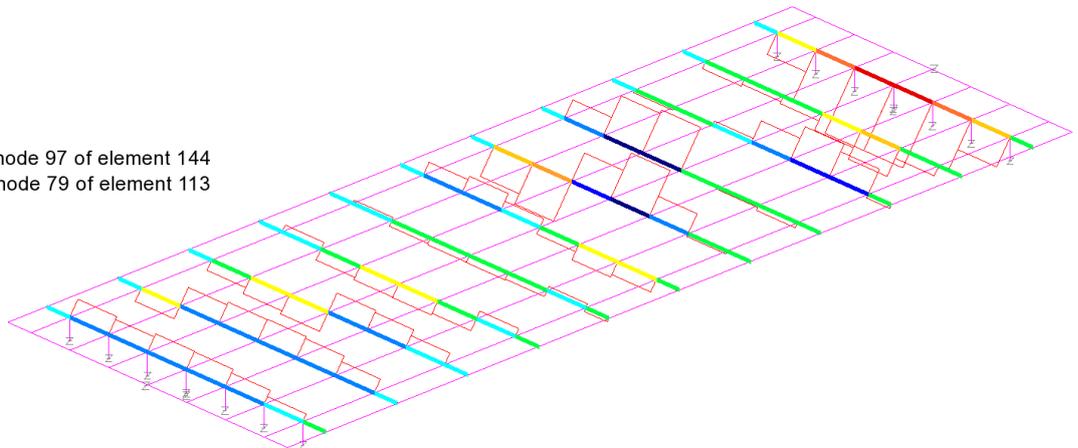


inviluppo S.L.U. A1 - Min My - My

Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 33.4299E3 at node 97 of element 144  
Minimum -23.3381E3 at node 79 of element 113

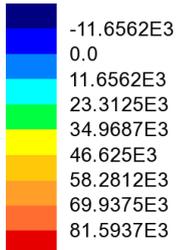


inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Assoc. Fx

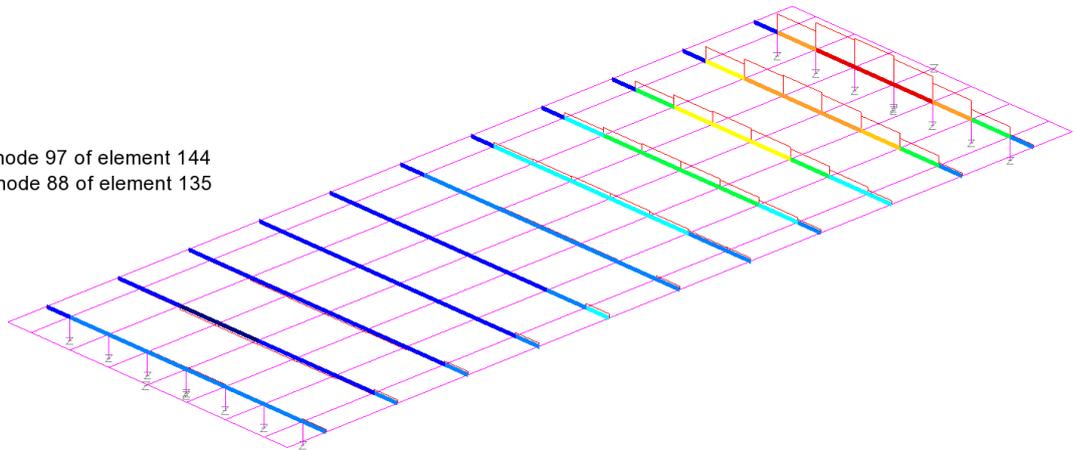
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	74 di 113

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

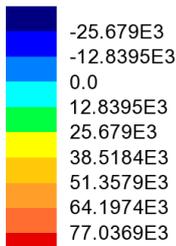


Maximum 92.6964E3 at node 97 of element 144  
Minimum -12.2098E3 at node 88 of element 135

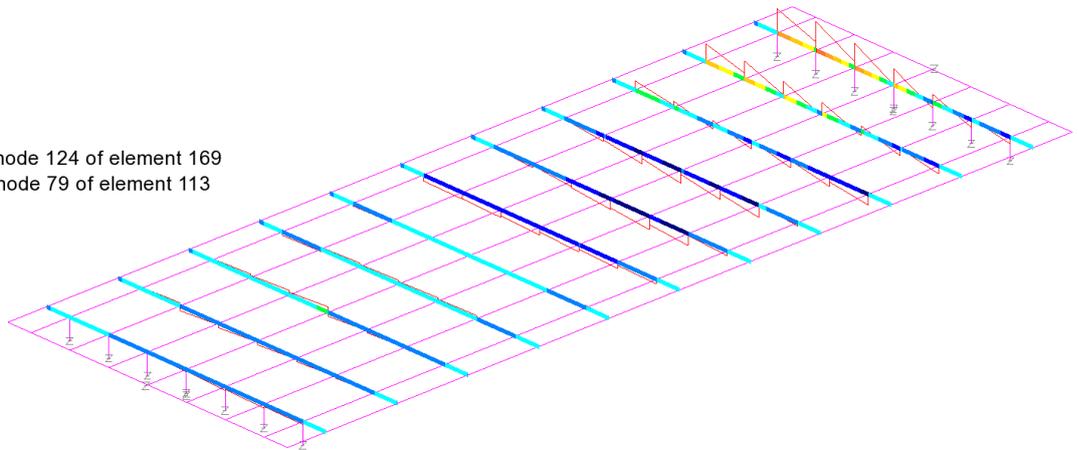


inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Fz

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 78.7904E3 at node 124 of element 169  
Minimum -36.7649E3 at node 79 of element 113

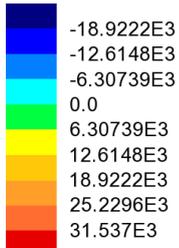


inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Assoc. My

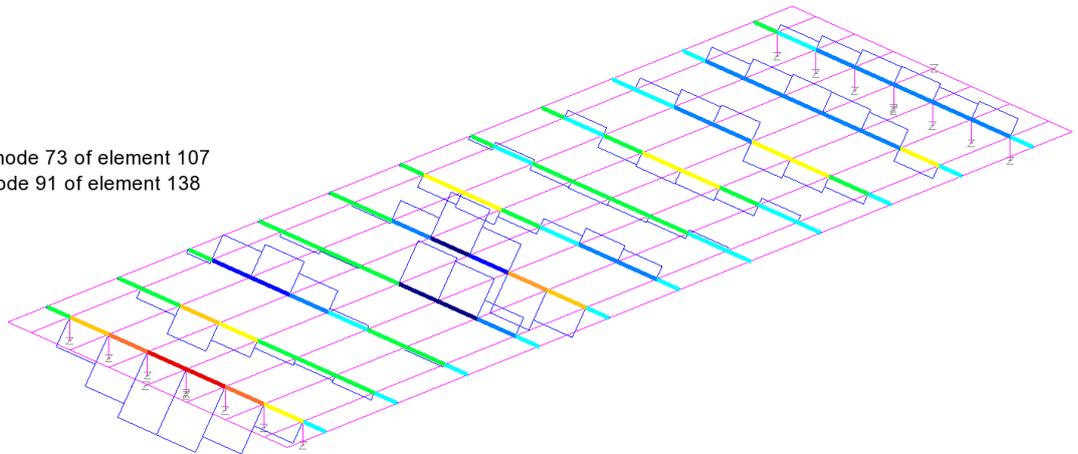
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	75 di 113

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

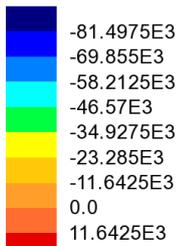


Maximum 33.4296E3 at node 73 of element 107  
Minimum -23.337E3 at node 91 of element 138

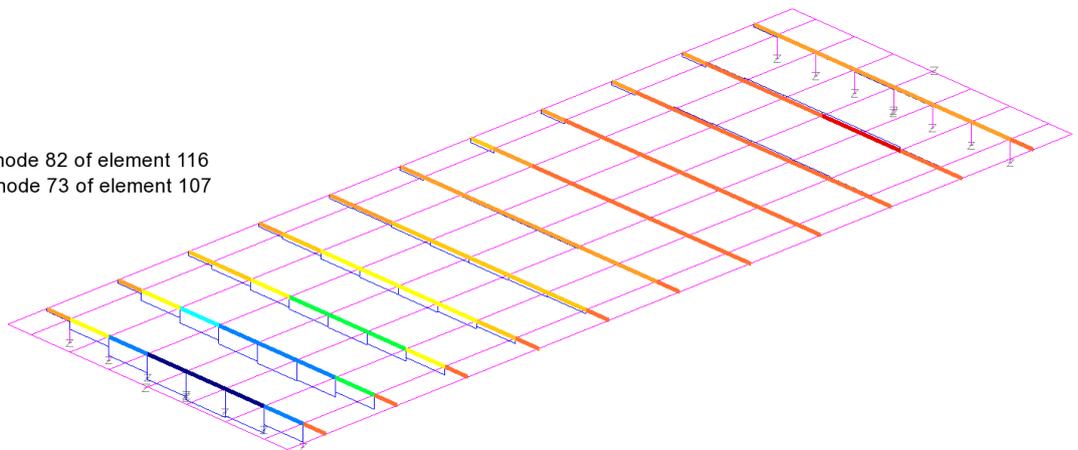


involuppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Assoc. Fx

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)



Maximum 12.2177E3 at node 82 of element 116  
Minimum -92.5648E3 at node 73 of element 107

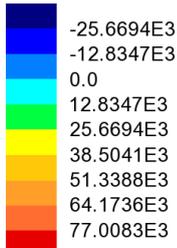


involuppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Fz

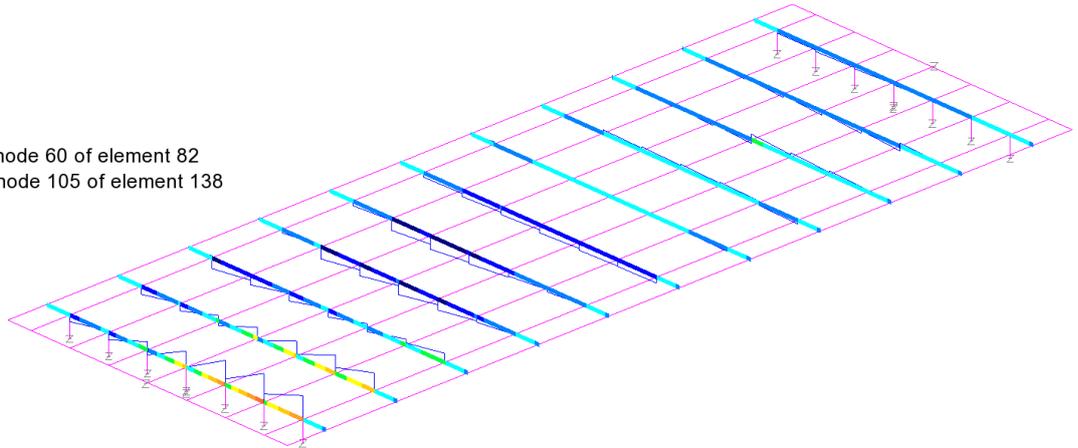
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	76 di 113

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

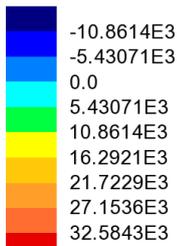


Maximum 78.7226E3 at node 60 of element 82  
Minimum -36.7898E3 at node 105 of element 138

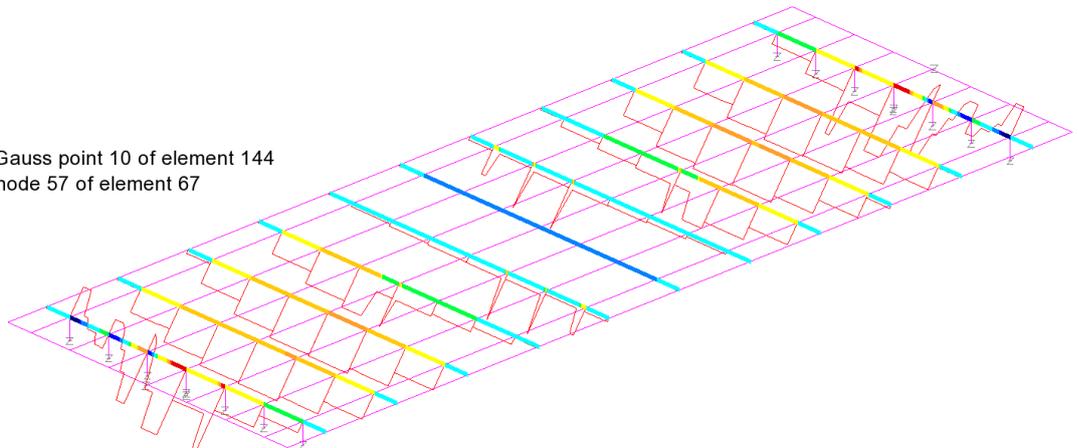


involuppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Assoc. My

Combining on: My  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)



Maximum 33.4299E3 at Gauss point 10 of element 144  
Minimum -15.4465E3 at node 57 of element 67

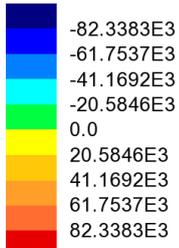


involuppo S.L.E. caratteristica - Max My - Assoc. Fx

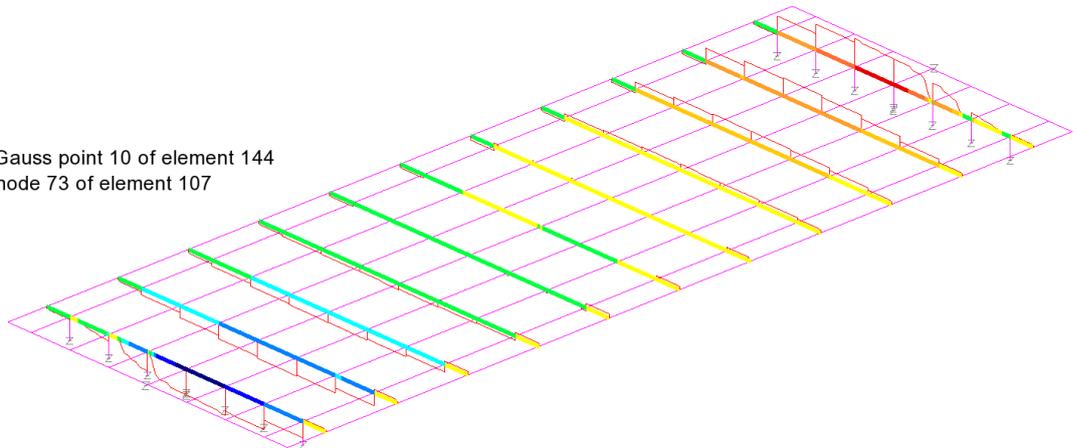
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	77 di 113

Combining on: My  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

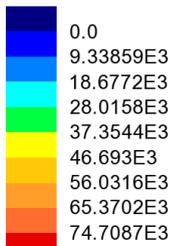


Maximum 92.6964E3 at Gauss point 10 of element 144  
Minimum -92.5648E3 at node 73 of element 107

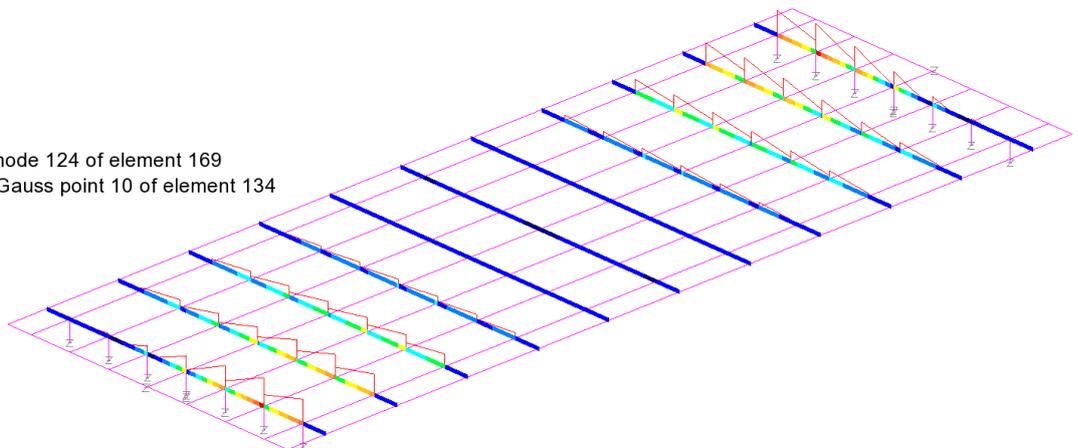


involuppo S.L.E. caratteristica - Max My - Assoc. Fz

Combining on: My  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 82.0037E3 at node 124 of element 169  
Minimum -2.04364E3 at Gauss point 10 of element 134

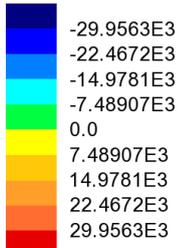


involuppo S.L.E. caratteristica - Max My - My

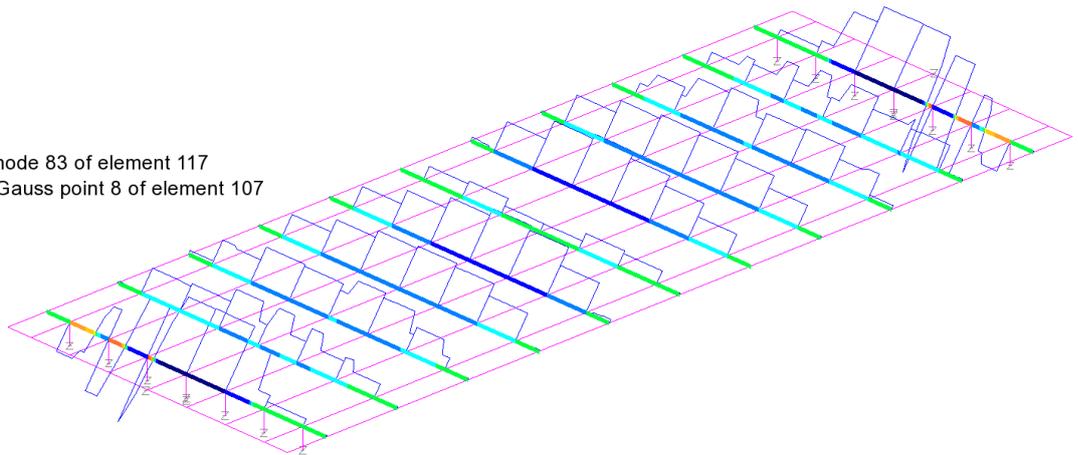
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	78 di 113

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fx (Units: N)

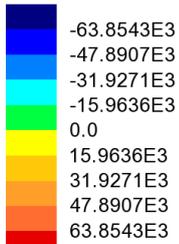


Maximum 33.5152E3 at node 83 of element 117  
Minimum -33.8864E3 at Gauss point 8 of element 107

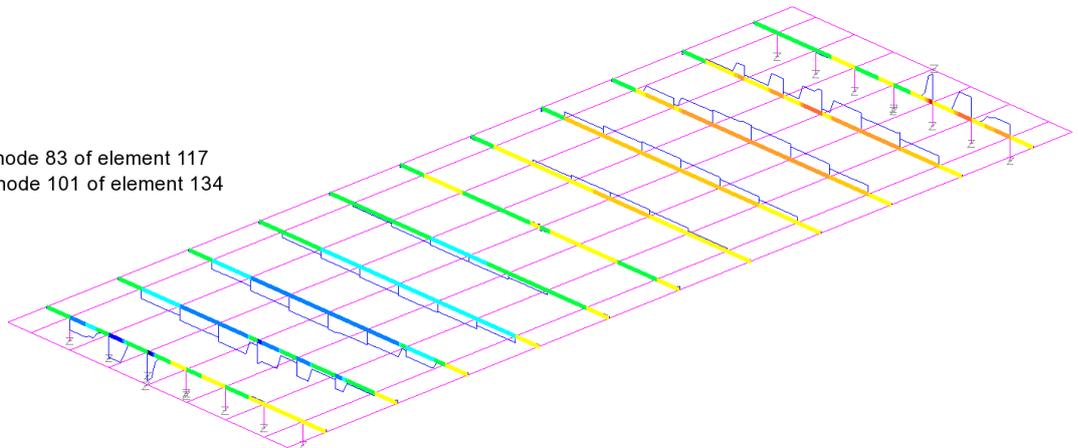


inviluppo S.L.E. caratteristica - Min My - Assoc. Fx

Combining on: My  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

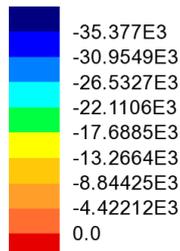


Maximum 71.8997E3 at node 83 of element 117  
Minimum -71.7723E3 at node 101 of element 134

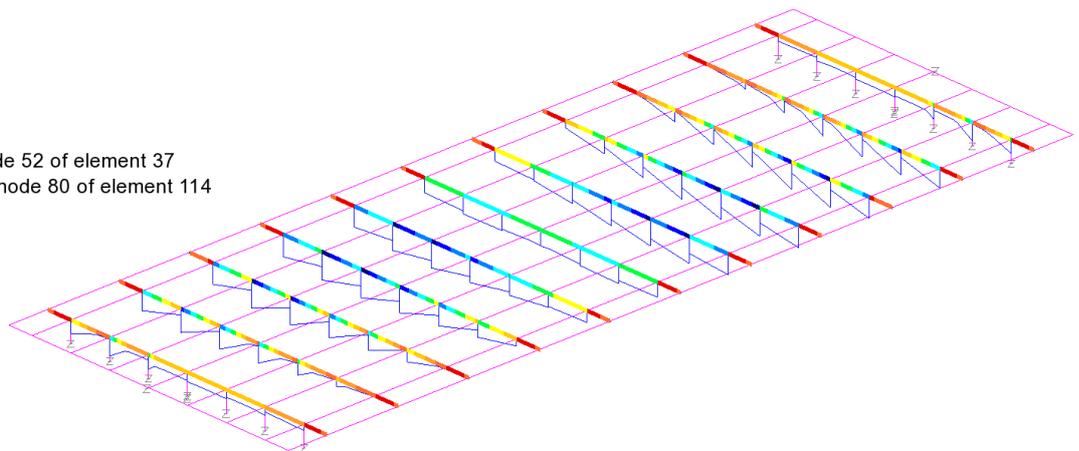


inviluppo S.L.E. caratteristica - Min My - Assoc. Fz

Combining on: My  
Involuppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 815.689 at node 52 of element 37  
Minimum -38.9834E3 at node 80 of element 114



involuppo S.L.E. caratteristica - Min My - My

### 6.3.2.2 Analisi dinamica – forme modali

L'analisi dinamica modale viene effettuata sia per la valutazione delle frequenze di vibrazione verticale dell'impalcato (controllo del comportamento per la valutazione del coefficiente dinamico), sia per l'estrazione dei modi principali, propedeutici all'analisi sismica.

Le masse attive considerate nei due casi differiscono per l'aliquota dovuta al carico mobile, considerata per la sola analisi sismica.

#### **Analisi modale – proprietà flessionali impalcato**

L'analisi viene arrestata ai primi 20 modi, individuando nel modo 4 il principale flessionale.

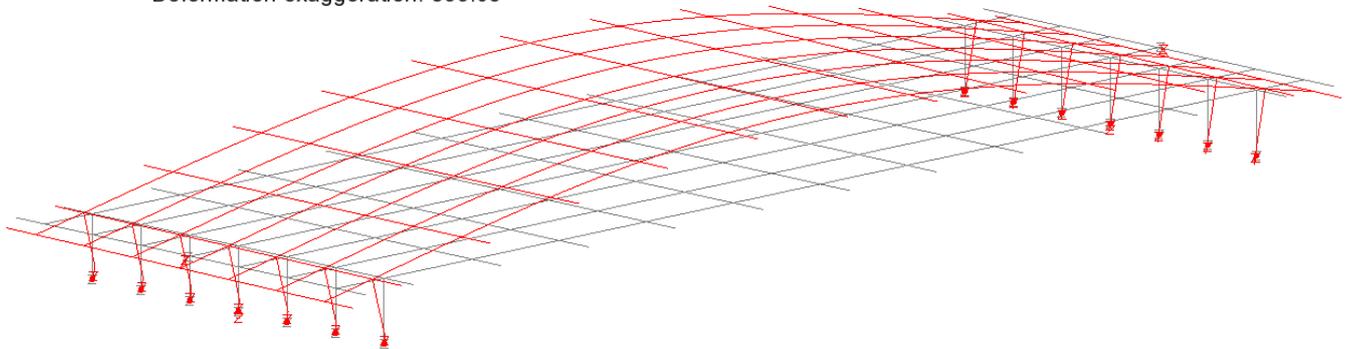
La massa attiva considerata per il calcolo delle proprietà flessionali è quella afferente i sovraccarichi permanenti:

$$M(G) = 258152 \text{ kg}$$

La figura seguente riporta la forma modale n. 9, mentre nella tabella i fattori di partecipazione ricavati.

**Modo 4 (verticale)  $f = 8.75$  Hz**

Scale: 1: 28.7873  
 Zoom: 49.4645  
 Eye: (-0.369095, -0.800939, 0.471451)  
 Eigenvalue analysis  
 Analysis: 05\_modale  
 Loadcase: 29:masse, 29:Mode 4 Frequency = 8.74456  
 Results file: SL01\_impalcato\_Interno\_rev3~05\_modale.mys  
 Eigenvalue: 3.01881E3  
 Natural frequency: 8.74456  
 Error norm: 1.10121E-6  
 Maximum displacement 2.88558E-3 at Gauss point 10 of element 112  
 Deformation exaggeration: 399.05


**Figura 6.23 Modo n. 4 – flessionale**

## PARTICIPATION FACTORS IN GLOBAL DIRECTIONS

MODE	X DIRECTION			Y DIRECTION			Z DIRECTION		
	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.
1	48.57	0.9137E-02	0.9137E-02	505.8	0.9908	0.9908	0.1388E-03	0.7467E-13	0.7467E-13
2	-505.8	0.9909	1.000	48.57	0.9137E-02	1.000	0.2101E-03	0.1709E-12	0.2456E-12
3	0.1839E-03	0.1310E-12	1.000	0.1923E-01	0.1433E-08	1.000	-6.477	0.1625E-03	0.1625E-03
4	0.1003E-03	0.3901E-13	1.000	0.5602E-04	0.1216E-13	1.000	424.3	0.6974	0.6975
5	0.1577	0.9637E-07	1.000	2.301	0.2051E-04	1.000	0.6891E-03	0.1840E-11	0.6975
6	0.3674	0.5228E-06	1.000	-0.3317	0.4263E-06	1.000	0.1697E-01	0.1116E-08	0.6975
7	-0.9404E-01	0.3426E-07	1.000	-1.046	0.4236E-05	1.000	-0.8399E-02	0.2732E-09	0.6975
8	-0.9405E-04	0.3426E-13	1.000	-0.1214E-02	0.5706E-11	1.000	-1.583	0.9706E-05	0.6975
9	0.7464E-05	0.2158E-15	1.000	0.4270E-04	0.7063E-14	1.000	102.8	0.4092E-01	0.7384
10	-0.2188E-03	0.1855E-12	1.000	0.7692E-02	0.2292E-09	1.000	-95.56	0.3537E-01	0.7738
11	-0.7534E-02	0.2199E-09	1.000	0.2578	0.2575E-06	1.000	3.206	0.3981E-04	0.7739
12	-0.6941E-02	0.1866E-09	1.000	0.2288E-01	0.2028E-08	1.000	-41.90	0.6802E-02	0.7807
13	0.7724E-02	0.2311E-09	1.000	-0.5011E-01	0.9727E-08	1.000	-31.76	0.3907E-02	0.7846
14	0.6633E-02	0.1704E-09	1.000	0.1733	0.1164E-06	1.000	-5.383	0.1123E-03	0.7847
15	0.8717E-05	0.2943E-15	1.000	0.2503E-02	0.2426E-10	1.000	71.73	0.1993E-01	0.8046
16	0.1196E-03	0.5543E-13	1.000	0.2471E-03	0.2365E-12	1.000	118.1	0.5398E-01	0.8586
17	-0.3330E-01	0.4295E-08	1.000	-0.1002E-01	0.3892E-09	1.000	-0.1046	0.4239E-07	0.8586
18	0.7740E-02	0.2320E-09	1.000	0.2851E-01	0.3149E-08	1.000	-0.2319	0.2082E-06	0.8586
19	-0.1943E-03	0.1463E-12	1.000	-0.3838E-03	0.5706E-12	1.000	-45.90	0.8160E-02	0.8668
20	-0.2772E-03	0.2976E-12	1.000	-0.3363E-03	0.4381E-12	1.000	-158.9	0.9786E-01	0.9646

**Tabella 6.20 Coefficienti di partecipazione**
**Analisi modale – sismica**

L'analisi viene arrestata ai primi 20 modi.

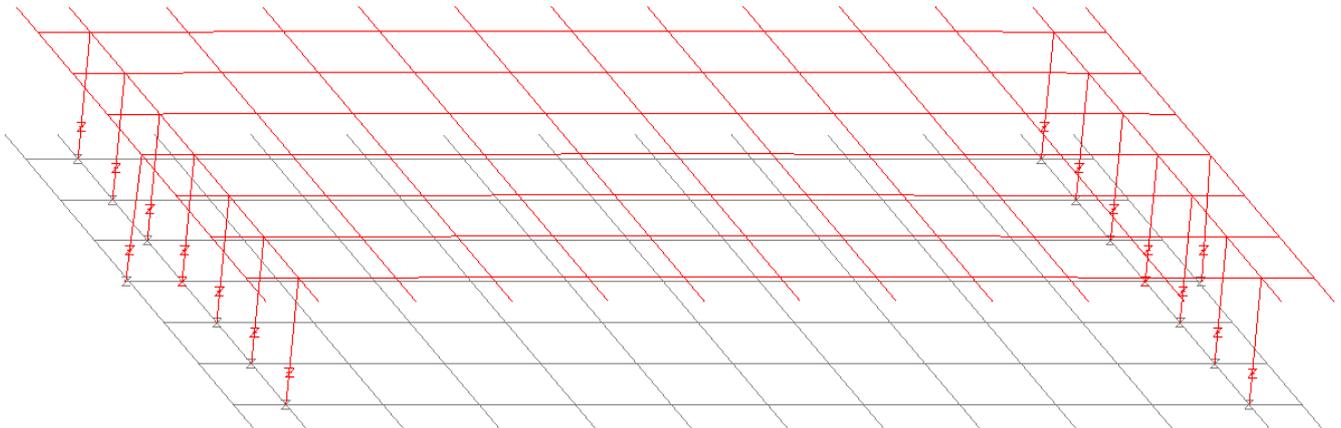
La massa attiva considerata per il calcolo delle proprietà flessionali è quella afferente i sovraccarichi permanenti + 20 % del totale carico SW/2:

$$M(G) + 0.2 (Q) = 301638 \text{ kg}$$

La figura seguente riporta le forme modali dei tre modi più significativi (1, 2 e 9), mentre in tabella si riportano i fattori di partecipazione ricavati.

**Modo 1 (traslazionale trasversale)  $f = 1.451 \text{ Hz}$**

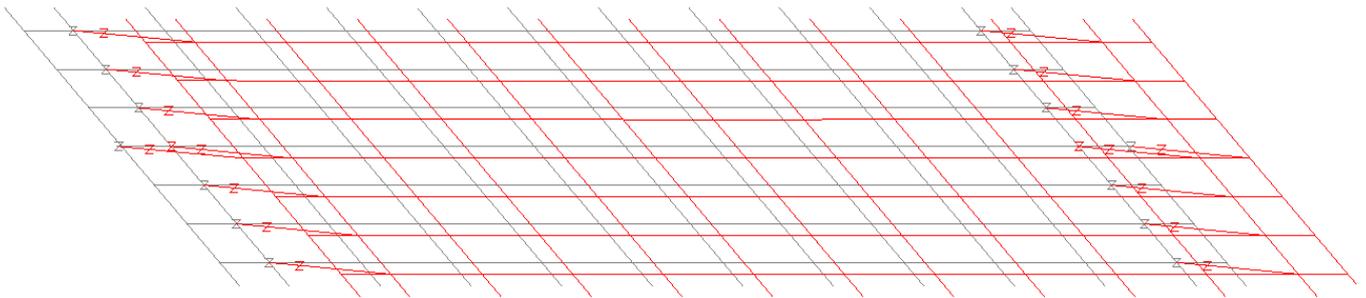
Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Eigenvalue analysis  
Analysis: 05\_modale  
Loadcase: 29:masse, 29:Mode 1 Frequency = 1.45114  
Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~05\_modale.mys  
Eigenvalue: 83.1338  
Natural frequency: 1.45114  
Error norm: 38.3199E-6  
Maximum displacement 1.7799E-3 at node 78  
Deformation exaggeration: 967.358



**Figura 6.24 Modo 1**

**Modo 2 (traslazionale longitudinale)  $f = 1.456$  Hz**

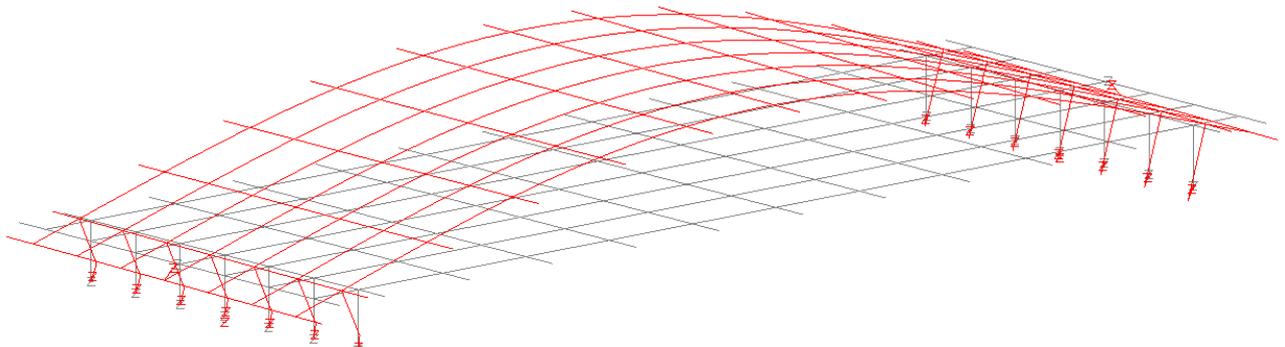
Scale: 1: 57.3933  
 Zoom: 95.5452  
 Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
 Eigenvalue analysis  
 Analysis: 05\_modale  
 Loadcase: 29:masse, 29:Mode 2 Frequency = 1.45564  
 Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~05\_modale.mys  
 Eigenvalue: 83.6505  
 Natural frequency: 1.45564  
 Error norm: 68.5241E-6  
 Maximum displacement 1.77518E-3 at node 139  
 Deformation exaggeration: 969.931



**Figura 6.25 Modo 2**

**Modo 4 (verticale)  $f = 7.883$  Hz**

Scale: 1: 57.3933  
 Zoom: 95.5452  
 Eye: (-0.326406, -0.807702, 0.490996)  
 Eigenvalue analysis  
 Analysis: 05\_modale  
 Loadcase: 29:masse, 29:Mode 4 Frequency = 7.88272  
 Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~05\_modale.mys  
 Eigenvalue: 2.45308E3  
 Natural frequency: 7.88272  
 Error norm: 1.34227E-6  
 Maximum displacement 2.60145E-3 at Gauss point 10 of element 112  
 Deformation exaggeration: 661.861



**Figura 6.26 Modo 4**

PARTICIPATION FACTORS IN GLOBAL DIRECTIONS

MODE	X DIRECTION			Y DIRECTION			Z DIRECTION		
	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.	P. FACTOR	MASS P.F.	SUM M.P.F.
1	53.98	0.9168E-02	0.9168E-02	561.1	0.9908	0.9908	0.1064E-03	0.3565E-13	0.3565E-13
2	561.1	0.9908	1.000	-53.98	0.9168E-02	1.000	-0.2427E-03	0.1854E-12	0.2211E-12
3	-0.1944E-03	0.1189E-12	1.000	-0.1725E-01	0.9366E-09	1.000	7.189	0.1626E-03	0.1626E-03
4	0.6770E-04	0.1442E-13	1.000	0.7299E-05	0.1676E-15	1.000	470.6	0.6970	0.6972
5	-0.1745	0.9585E-07	1.000	-2.543	0.2035E-04	1.000	-0.8390E-03	0.2215E-11	0.6972
6	0.4078	0.5234E-06	1.000	-0.3678	0.4257E-06	1.000	0.1812E-01	0.1034E-08	0.6972
7	-0.1041	0.3410E-07	1.000	-1.157	0.4215E-05	1.000	-0.9400E-02	0.2780E-09	0.6972
8	0.7350E-04	0.1700E-13	1.000	0.9887E-03	0.3076E-11	1.000	1.884	0.1117E-04	0.6972
9	0.2143E-04	0.1445E-14	1.000	0.4066E-04	0.5202E-14	1.000	109.1	0.3747E-01	0.7347
10	-0.7729E-02	0.1880E-09	1.000	0.5399E-01	0.9172E-08	1.000	-41.14	0.5326E-02	0.7400
11	-0.4615E-02	0.6701E-10	1.000	0.3140E-01	0.3103E-08	1.000	71.00	0.1586E-01	0.7558
12	-0.1726E-02	0.9372E-11	1.000	-0.4213E-02	0.5585E-10	1.000	-35.86	0.4047E-02	0.7599
13	0.1385E-01	0.6036E-09	1.000	0.1811E-01	0.1032E-08	1.000	-3.361	0.3555E-04	0.7599
14	0.3989E-02	0.5008E-10	1.000	-0.3421	0.3683E-06	1.000	0.7953	0.1991E-05	0.7599
15	-0.2698E-04	0.2290E-14	1.000	-0.1255E-02	0.4955E-11	1.000	-116.4	0.4264E-01	0.8026
16	0.1138E-03	0.4076E-13	1.000	0.2267E-03	0.1617E-12	1.000	133.2	0.5581E-01	0.8584
17	-0.3638E-01	0.4164E-08	1.000	-0.7668E-02	0.1850E-09	1.000	-0.1493	0.7019E-07	0.8584
18	0.1139E-01	0.4079E-09	1.000	0.3215E-01	0.3253E-08	1.000	-0.2802	0.2471E-06	0.8584
19	-0.1416E-03	0.6311E-13	1.000	-0.9441E-04	0.2805E-13	1.000	-58.16	0.1065E-01	0.8690
20	-0.2992E-03	0.2816E-12	1.000	-0.3420E-03	0.3680E-12	1.000	-174.7	0.9600E-01	0.9650

**Tabella 6.21 Fattori di partecipazione - analisi modale per an. sismica**

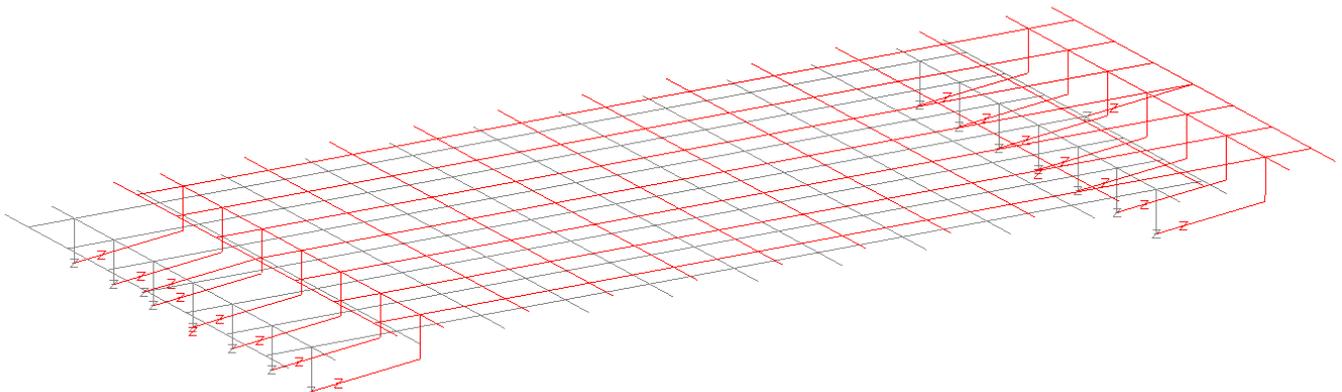
Come si può notare, l'analisi è in grado di attivare una percentuale superiore al 83 % della massa, e viene pertanto ritenuta rappresentativa.

### 6.3.2.3 Sovrapposizione modale – principali risultati

Qui di seguito si riportano le deformate inerenti agli spostamenti sismici valutati con riferimento alla sovrapposizione modale SLV ed SLD. Gli spostamenti indicati sono espressi in m.

#### SLV – Ig (max δlg)

Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (-0.159465, -0.638891, 0.752588)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLV\_Se  
Loadcase: 141:SLV\_Ig  
Maximum displacement 0.0404615 at node 45  
Deformation exaggeration: 42.554

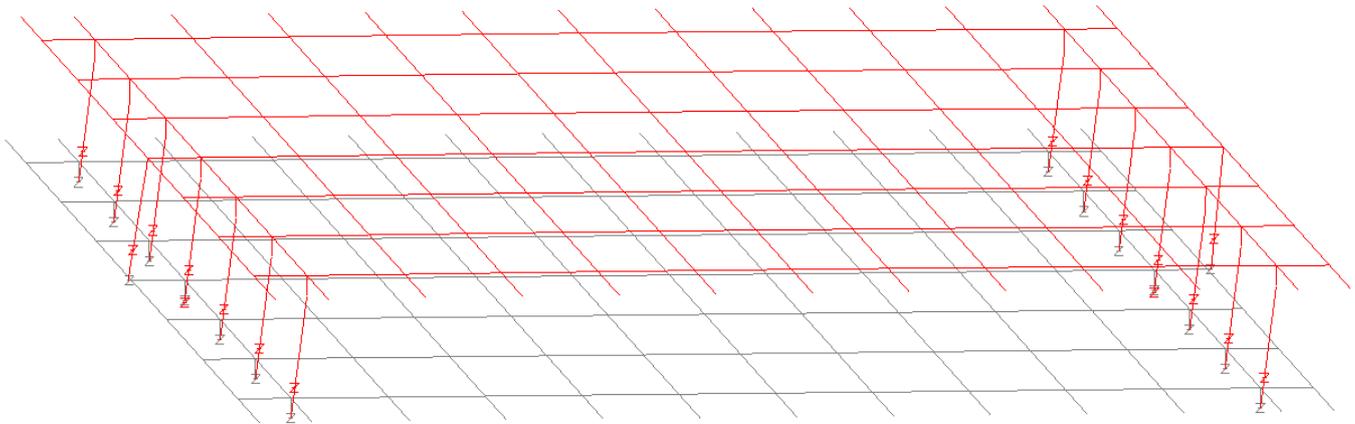


Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	84 di 113

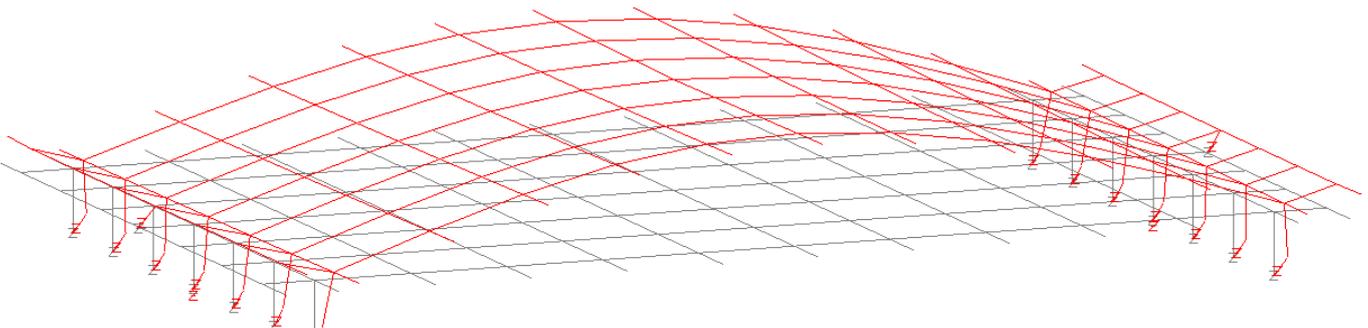
### SLV – tv (max $\delta_{trv}$ )

Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (-2.97791E-3, -0.270266, 0.962781)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLV\_Se  
Loadcase: 142:SLV\_tv  
Maximum displacement 0.0406886 at node 78  
Deformation exaggeration: 42.3165



### SLV – vert (max $\delta_v$ )

Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (-0.118558, -0.848506, 0.515734)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLV\_Sv  
Loadcase: 143:SLV\_vert  
Maximum displacement 1.47085E-3 at node 92  
Deformation exaggeration: 1.17061E3

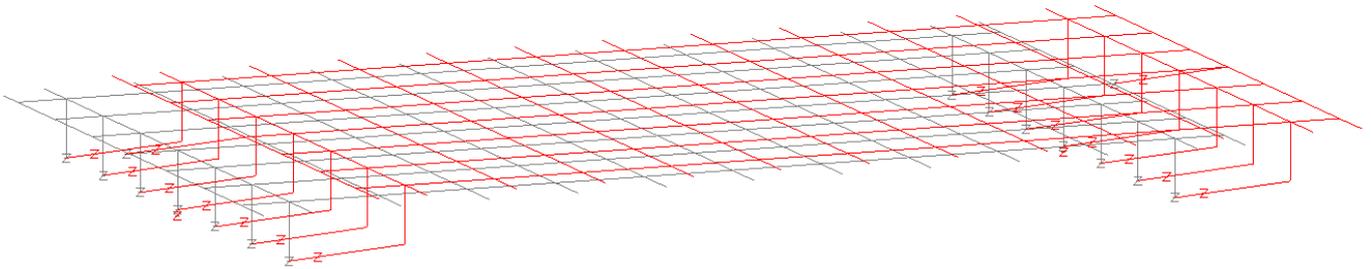


Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	85 di 113

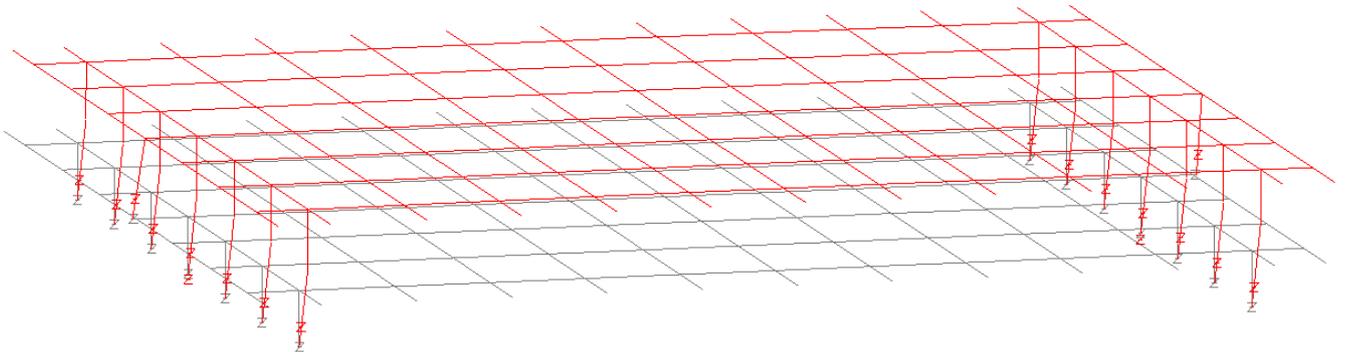
**SLD – lg (max  $\delta_{lg}$ )**

Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (-0.118558, -0.848506, 0.515734)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLD\_Se  
Loadcase: 144:SLD\_lg  
Maximum displacement 0.0150455 at node 45  
Deformation exaggeration: 114.439



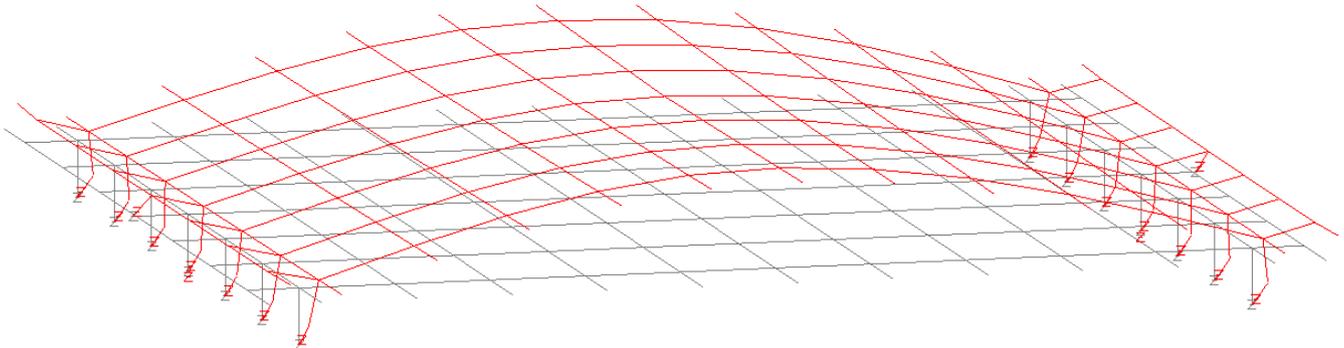
**SLD – tv (max  $\delta_{trv}$ )**

Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (-0.0506211, -0.766328, 0.640453)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLD\_Se  
Loadcase: 145:SLD\_tv  
Maximum displacement 0.0151299 at node 78  
Deformation exaggeration: 113.801



**SLD – vert (max  $\delta_v$ )**

Scale: 1: 57.3933  
Zoom: 95.5452  
Eye: (-0.0506211, -0.766328, 0.640453)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLD\_Sv  
Loadcase: 146:SLD\_vert  
Maximum displacement 0.362849E-3 at node 92  
Deformation exaggeration: 4.74523E3



## 6.4 Verifiche strutturali impalcato

### 6.4.1 Verifica travi metalliche

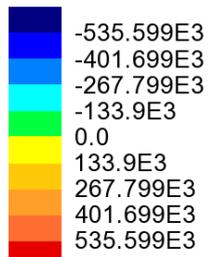
Le verifiche sulle travi metalliche vengono effettuate in osservanza a quanto prescritto dal MdP par. 2.9.2.1 trascurando integralmente la collaborazione con il calcestruzzo, considerando la sezione posta in prossimità dell'appoggio e la sezione di mezzzeria.

I diagrammi seguenti riepilogano il quadro delle sollecitazioni in termini di involuipi S.L.U. per max/min V (azioni taglianti) e per min M (flettente) sulle travi longitudinali.

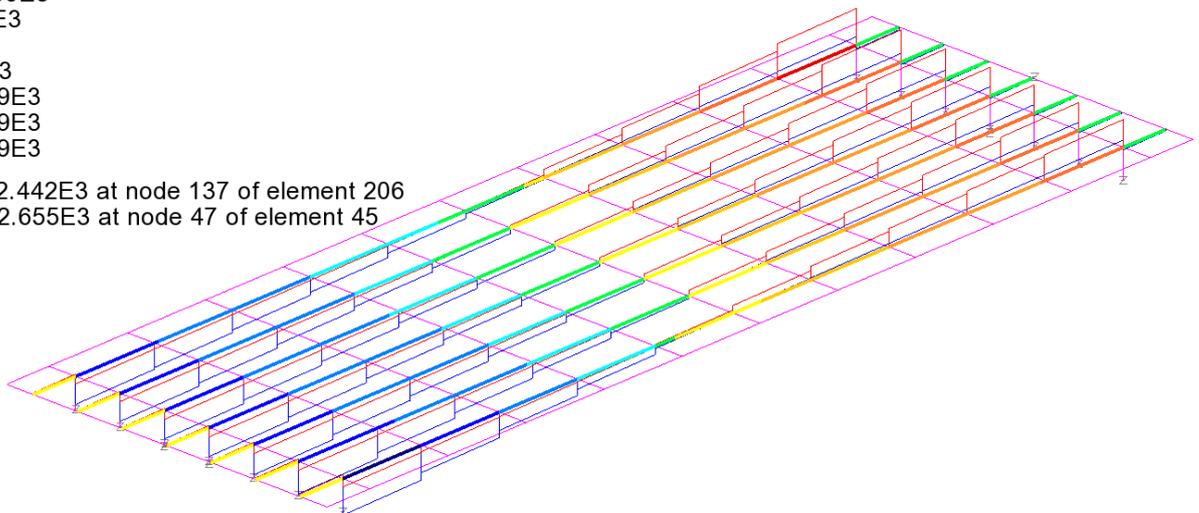
Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	87 di 113

Combining on: Fz  
Involuppo S.L.U. A1(Extreme)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: Fz (Units: N)

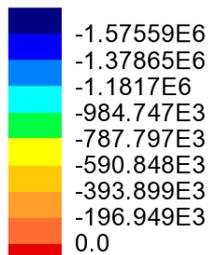


Maximum 602.442E3 at node 137 of element 206  
Minimum -602.655E3 at node 47 of element 45

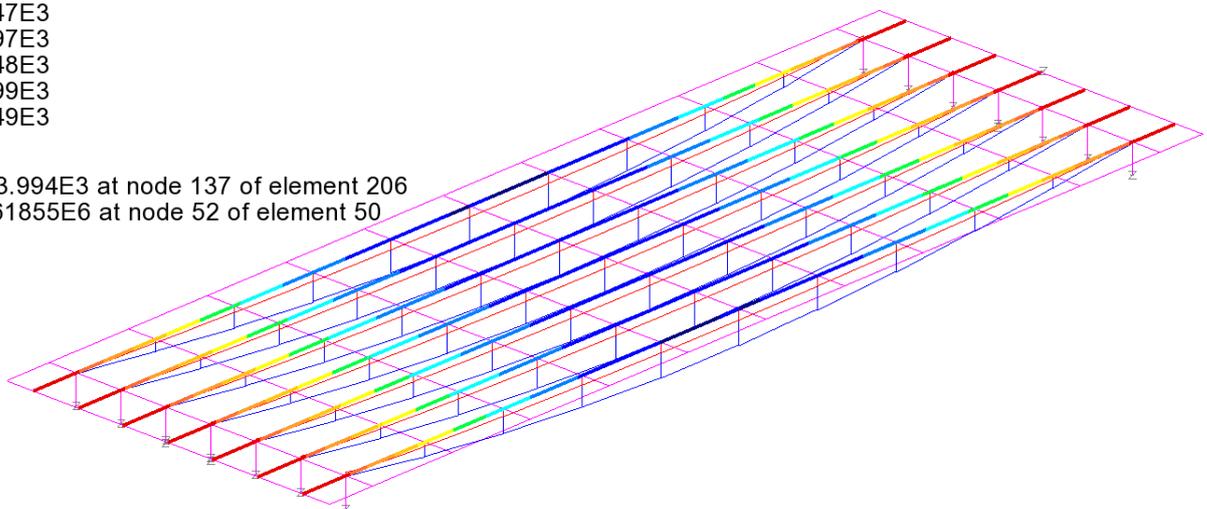


**Figura 6.27 max/min V - S.L.U.**

Combining on: My  
Involuppo S.L.U. A1(Extreme)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)



Maximum 153.994E3 at node 137 of element 206  
Minimum -1.61855E6 at node 52 of element 50



**Figura 6.28 max/min M - S.L.U.**

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	88 di 113

Le verifiche vengono effettuate con riferimento allo S.L.U. elastico delle sezioni, valutando le tensioni di Von Mises. Vista la presenza del calcestruzzo che, sebbene non contemplato nella verifica conferisce un'azione stabilizzante, non si considerano i fenomeni connessi all'instabilità dei pannelli.

La tabella seguente riepiloga il calcolo ed i risultati della verifica in termini di rapporto di sfruttamento.

Caratteristiche del profilo		Caratteristiche materiale	
tipo	HEB800	$f_{yk}$	355.00 MPa
A	3.34E+04 mm <sup>2</sup>	$\gamma_M$	1.05
Wxx max	8.99E+06 mm <sup>3</sup>	$\sigma_{lim}$	338.10 Mpa
Av	1.40E+04 mm <sup>2</sup>		

Posizione	comb_ver	elem	nodo	sollecitazioni risultanti			tensioni calcolate (Mpa)					R.S. $\eta(\sigma_{id}/\sigma_{lim})$
				N (kN)	V (kN)	M (kNm)	$\sigma_N$	$\sigma_M$	$\sigma_{max}$	$\tau_{med}$	$\sigma_{id}$	
Mezzeria	S.L.U. Min My	50	52	119.00	132.00	-1619.00	3.56	-180.14	183.70	9.43	184.43	0.55
Appoggio sp1	S.L.U. Min V	45	47	-13.50	-603.00	-610.00	-0.40	-67.87	68.28	-43.07	101.13	0.30
Appoggio sp2	S.L.U. Max V	206	137	13.50	603.00	-610.00	0.40	-67.87	68.28	43.07	101.13	0.30

**Tabella 6.22 Verifica profilo metallico HEB800**

Si riporta qui di seguito, per ulteriore controllo, la fattorizzazione S.L.U. impiegata per l'elaborazione di min My in corrispondenza dell'elemento verificato.

Lc name	My	Factor	Factored My
	Nm		kNm
gk1-peso acciaio	-53046	1.35	-71.6
gk1-peso getto	-283783	1.35	-383.1
gk2-sovraccarichi finiture	-12704	1.35	-17.2
gk3-ballast	-169387	1.50	-254.1
Fw_scarico	19367	-0.90	-17.4
Tk	813	-0.90	-0.7
LM71_avvio_binario1	-1996	0.73	-1.4
serpeggio_POS_LM71_posB_binario1	20282	-1.45	-29.4
LM71_NEG_posB_binario1	-581781	1.45	-843.6
			<b>-1619</b>

**Tabella 6.23 Fattorizzazione per S.L.U. min M el. 50**

## 6.4.2 Verifica solettone in c.a. in direzione trasversale

La verifica viene effettuata cper il solo corpo principale non essendo presenti sbalzi laterali.

### 6.4.2.1 Corpo principale solettone

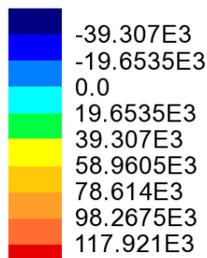
#### Verifica per tensioni normali

I diagrammi seguenti richiamano l'andamento del massimo e risp. minimo momento flettente di progetto S.L.U. e S.L.E. rara rilevato lungo gli elementi trasversali del grigliato.

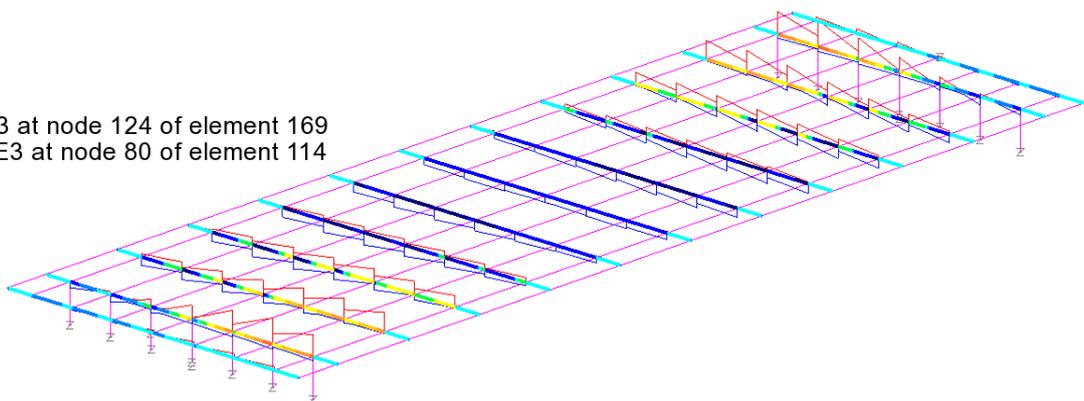
I valori indicati sono sollecitazioni "di trave", ovvero riferiti all'effettiva ampiezza dell'elemento equivalente alla soletta continua:

- Elemento "coda":  $b = 0.10 \text{ m}$
- Elemento a cavallo degli appoggi:  $b = 1.00 \text{ m}$
- Elemento "corrente":  $b = 0.98 \text{ m}$
- 

Combining on: My  
Inviluppo S.L.U. A1(Extreme)  
Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Component: My (Units: N.m)

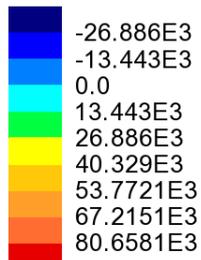


Maximum 120.02E3 at node 124 of element 169  
Minimum -56.8611E3 at node 80 of element 114

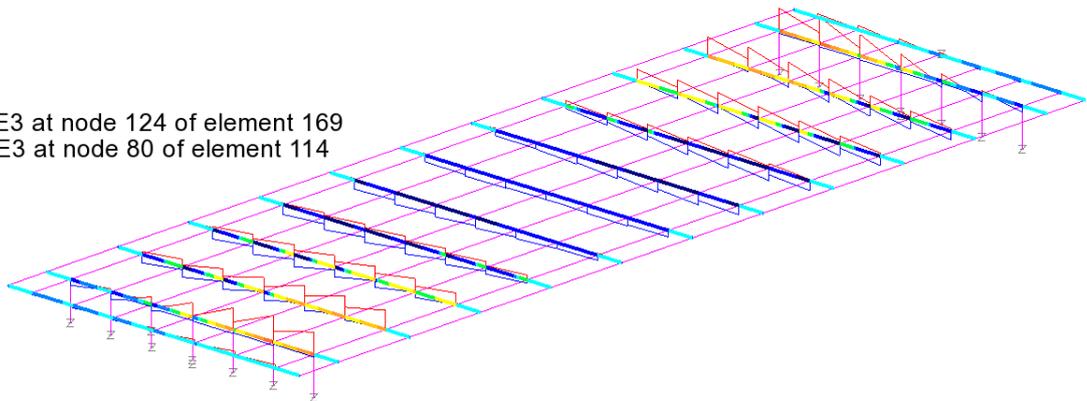


**Figura 6.29 elementi trasversali - My S.L.U.**

Combining on: My  
 Involuppo S.L.E. caratteristica(Extreme)  
 Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
 Component: My (Units: N.m)



Maximum 82.0037E3 at node 124 of element 169  
 Minimum -38.9834E3 at node 80 of element 114



**Figura 6.30 elementi trasversali - My S.L.E.**

L'armatura trasversale del corpo del solettone è conforme ai criteri generali contenuti nel MdP, e si compone, nella zona corrente di:

- Armatura trasversale superiore:  $\varnothing$  16/10
- Armatura trasversale inferiore:  $\varnothing$  22/40 (\*)

Le sollecitazioni per la verifica vengono poi riportate alla larghezza di 120 cm per tener conto dei passi delle barre utilizzate:

	SLU su 98 cm		SLU su 120 cm	
	N [kN]	M [kN*m]	N [kN]	M [kN*m]
Cond. 1	18	120	Cond. 1	22.04 146.94
Cond. 2	-31	-57	Cond. 2	-37.96 -69.80
	SLE rara su 104 cm		SLE rara su 120 cm	
	N [kN]	M [kN*m]	N [kN]	M [kN*m]
Cond. 1	12	82	Cond. 1	14.69 100.41
Cond. 2	-21	-39	Cond. 2	-25.71 -47.76

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	91 di 113

(\*) nelle zone di coda si predisporranno le armature indicate negli elaborati tipologici del MdP, composte da barre  $\phi$  22/20.

Il calcolo delle prestazioni ultime, il calcolo tensionale e la verifica di fessurazione vengono eseguiti con il tool RC-SEC, considerando cautelativamente una sezione di altezza pari alla minima netta del solettone  $h = 967$  mm.

Di seguito l'elaborazione e i risultati.

### DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

**NOME SEZIONE:** Corpo\_principale

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza: Resistenze in campo sostanzialmente elastico  
 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: Moderat. aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
 Riferimento alla sismicit : Comb. non sismiche

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto $f_{cd}$ :	18.81	MPa
	Deform. unitaria max resistenza $\epsilon_{c2}$ :	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima $\epsilon_{cu}$ :	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale $E_c$ :	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :	3.10	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.3	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento $f_{yk}$ :	450.0	MPa
	Resist. caratt. a rottura $f_{tk}$ :	450.0	MPa
	Resist. a snerv. di progetto $f_{yd}$ :	391.3	MPa
	Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :	391.3	MPa
	Deform. ultima di progetto $\epsilon_{pu}$ :	0.068	
	Modulo Elastico $E_f$ :	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:	337.5	MPa	

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	120.0	cm
Altezza:	96.7	cm
Barre inferiori:	3 $\phi$ 22	(11.4 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10 $\phi$ 16	(20.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	92 di 113

**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	-22.04	-147.00	0.00	0.00
2	38.00	70.00	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	-14.69	-100.50
2	25.71	48.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.9 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO**

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 re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 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]  
 As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	-22.04	-147.00			4.601	16.0	0.18	0.70	20.1 (19.6)
2	S	38.00	70.00			5.802	84.2	0.14	0.70	11.4 (19.6)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo 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	0.00042	0.0	0.00028	5.3	-0.00196	91.4

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	93 di 113

2	0.00031	96.7	0.00018	91.4	-0.00196	5.3
---	---------	------	---------	------	----------	-----

**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)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] 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	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.96	0.0	0.00	17.2	-62.0	5.3	13.3	1590	20.1	12.2
2	S	0.57	96.7	0.00	79.8	-37.8	91.4	13.3	1590	11.4	0.0

**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
e3	Deformazione unitaria al limite dell'area tesa efficace di calcestruzzo
K2	= (e1 + e3)/(2*e3) secondo la (7.13) dell'EC2 e la (C4.1.19)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]

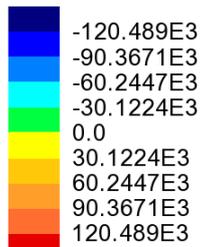
N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00033	0.00007	-0.00028	0.92	0.60	0.000186 (0.000186)	547	0.102 (0.20)	-626.65
2	S	-0.00020	0.00004	-0.00017	0.92	0.60	0.000113 (0.000113)	1039	0.118 (0.20)	693.94

**Verifica a taglio**

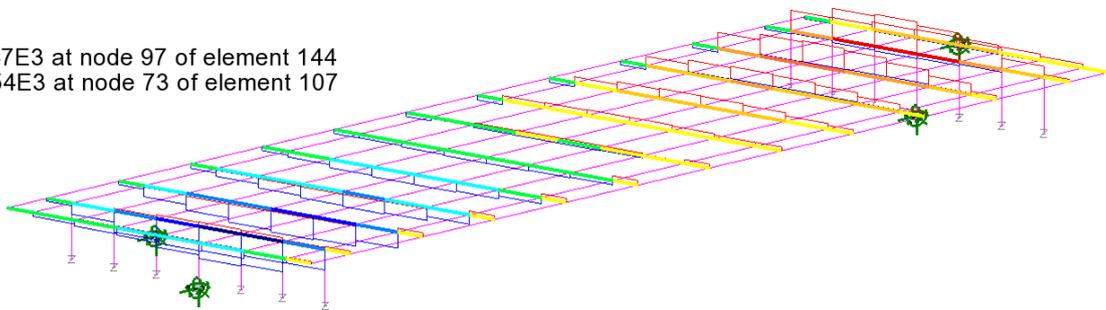
I diagrammi seguenti richiamano l'andamento del massimo e risp. minima azione tagliante di progetto S.L.U. rilevate lungo gli elementi trasversali del grigliato.

Anche in questo caso i valori indicati sono sollecitazioni "di trave", ovvero riferiti all'effettiva ampiezza dell'elemento equivalente alla soletta continua.

Combining on: Fz  
 Involuppo S.L.U. A1(Extreme)  
 Entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
 Component: Fz (Units: N)



Maximum 135.647E3 at node 97 of element 144  
 Minimum -135.454E3 at node 73 of element 107



**Figura 6.31 elementi trasversali - V S.L.U.**

I valori indicati sono sollecitazioni “di trave”, ovvero riferiti all’effettiva ampiezza dell’elemento equivalente alla soletta continua:

- Elemento “coda”:  $b = 0.1 \text{ m}$
- Elemento a cavallo degli appoggi:  $b = 1.00 \text{ m}$
- Elemento “corrente”:  $b = 0.98 \text{ m}$

La massima azione tagliante in rapporto alla larghezza della sezione viene rilevata in corrispondenza degli elementi trasversali posti a cavallo degli appoggi (elem.  $b = 1000 \text{ mm}$ ) dove si ha un taglio pari quasi al valore massimo in assoluto.

La verifica a taglio viene effettuata in prima battuta con riferimento ai criteri contenuti in NTC 2018 / EN 1992-1-1 validi per sezioni prive di armatura a taglio.

Di seguito la tabella contenente i dati caratteristici e la verifica.

Posizione	comb_ver	elem	nodo	soll. di progetto		dati geom. (mm)	
				$N_{Ed}$ (kN)	$ V_{Ed} $ (kN)	b	h
Corpo princ.	S.L.U. Max V	144		49	134.79	1000	967

**Tabella 6.24 Verifica a taglio - sollecitazioni di progetto**

**Verifica a taglio - EN 1992-1-1 cap. 6 + N.A.D.**
**Azioni Esterne**
**Elemento** Paramento - spiccatosez. Asse appoggi

**Combinazione** S.L.U.

 $N_{ed,conc}$  -49.00 kN Azione assiale concomitante (positive le compressioni !!!)

 $V_{E,d}$  135.70 kN Azione tagliante di progetto

**Caratteristiche sezione**
 $b$  1000 mm Larghezza totale

 $h$  967 mm Altezza totale

 $A_c$  9.67E+05 mm<sup>2</sup> Area sezione

 $A_{sl}$  2.01E+03 mm<sup>3</sup> Armatura al lembo teso

 $c$  53 mm Distanza armature tese da lembo esterno

 $d$  914 mm Altezza utile sezione

 $\rho_1 =$  2.199E-03  $\min(A_{sl}/b_w d) ; 0.02$  6.2.2(1)

 $z_{app}$  822.6 mm Braccio coppia interna approssimato

 $z_{calc}$  0 mm Braccio coppia interna effettiva (= 0 se utilizzo approssimato)

 $z$  822.6 mm Braccio coppia interna di calcolo

**Caratteristiche materiali**
 $f_{ck}$  32 MPa Resistenza car. cilindrica

 $f_{yk}$  450 MPa Snervamento barre

 $\alpha_{cc}$  0.85 3.1.6(1)P + N.A.D.

 $\gamma_c$  1.5  $\gamma_m$  calcestruzzo

 $\gamma_s$  1.15  $\gamma_m$  barre

 $f_{cd}$  18.13 MPa EN1992-1-1 prosp. 3.1

 $f_{ctk,005}$  2.12 MPa EN1992-1-1 prosp. 3.1

 $f_{ctd}$  1.41 MPa EN1992-1-1 prosp. 3.1

 $f_{yd}$  391.30 MPa

**Calcolo resistenza a taglio - elementi fessurati**
**Parametri calcolati EN 1992-1-1 cap. 6.2**
 $C_{Rd,c} =$  0.12 6.2.2(1), nota1 - parametro di scelta nazionale (NAD)

 $k =$  1.47  $\min([1+(200/d)^{0.5}] ; 2)$  6.2.2(1)

 $k_1 =$  0.15 6.2.2(1), nota1 - parametro di scelta nazionale (NAD)

 $\sigma_{cp} =$  -0.05 MPa Tensione med. di compressione nell'elemento (lim. Sup. 3.08 MPa)

 $V_{min} =$  0.35 MPa 6.2.2(1); 6.3N - parametro di scelta nazionale (NAD)

 $V_{Rd,c,min} =$  283.36 6.2.2.(1);6.2b

 $V_{Rd,c} =$  314.85 kN 6.2.2.(1);6.2a

La verifica è soddisfatta

**Tabella 6.25 Verifica a taglio – sez. asse appoggi**

 Risultando  $V_{Rd,c} > V_{Ed,S.L.U.}$ , la sicurezza a taglio appare garantita senza predisporre specifiche armature.

## 6.5 Verifiche per combinazioni eccezionali

### 6.5.1 Deragliamento

Dall'esame delle sollecitazioni rilevate sul modello fem, si evince che le sollecitazioni indotte dalla condizione di deragliamento risultano inferiori a quelle rilevate sotto l'azione del normale traffico ferroviario.

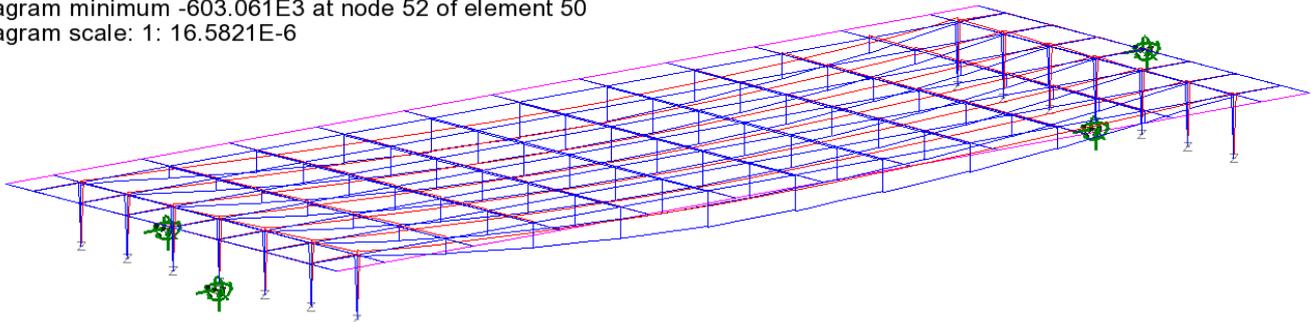
Pertanto si ritiene non significativo lo sviluppo di specifiche verifiche strutturali in combinazione eccezionale.

Qui di seguito si riportano, a titolo di comparazione, i diagrammi di momento flettente rilevati rispettivamente per.

- Env Qk                                inviluppo sollecitazioni flettenti per effetto dell'azione multicomponente Qk
- Env Deragliamento                inviluppo sollecitazioni flettenti dei due casi di deragliamento valutati

Combining on: My  
EnvQk\_gr1\_3 (Max)

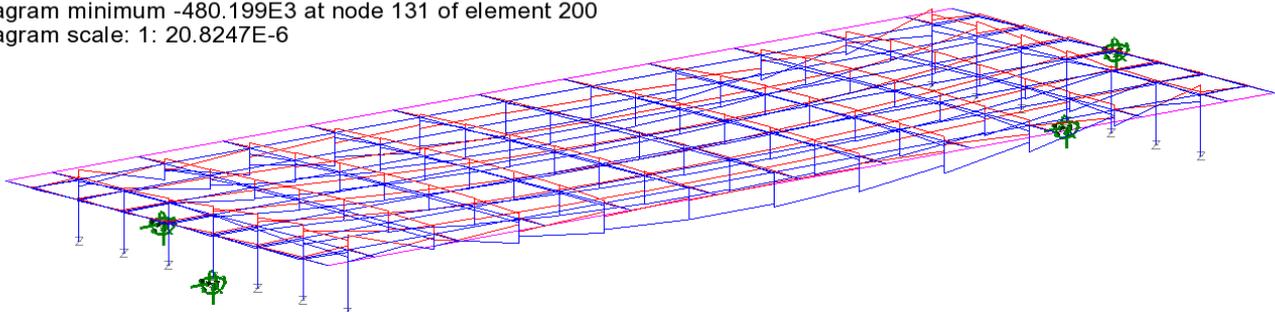
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Diagram component: My (Units: N.m)  
Diagram maximum 72.6712E3 at node 137 of element 206  
Diagram minimum -603.061E3 at node 52 of element 50  
Diagram scale: 1: 16.5821E-6



**Figura 6.32 inviluppo Qk - max/min M su elementi grigliato**

Combining on: My  
Env\_deragliamento\_caso2 (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam  
Diagram component: My (Units: N.m)  
Diagram maximum 201.079E3 at node 137 of element 206  
Diagram minimum -480.199E3 at node 131 of element 200  
Diagram scale: 1: 20.8247E-6



**Figura 6.33 inviluppo deragliamento (caso2) - max/min M su elementi grigliato**

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	97 di 113

Come si può notare dall'esame dei valori massimi/minimi rilevati in corrispondenza del corpo principale del manufatto (caratterizzato da caratteristiche resistenti uniformi su tutto lo sviluppo), le azioni indotte dal normale traffico ferroviario sono superiori a quelle rilevabili dalla combinazione di deragliamento.

Si rileva infatti:

Min  $M_{Q_k} = -603 \text{ kNm}$

Min  $M_{\text{deragliamento}} = -480 \text{ kNm}$

## 6.6 Verifiche di deformabilità

### 6.6.1 Frecce verticali

Di seguito si riportano le frecce massime verticali sotto l'azione delle seguenti combinazioni elaborati per  $\min \delta_z$ :

- Combinazione S.L.E. caratteristica (tutti i contributi)
- Soli carichi mobili e azioni associate ( $Q_k$ )

Combining on: DZ

Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)

Maximum displacement 0.0209541 at node 20

Deformation exaggeration: 13.6416

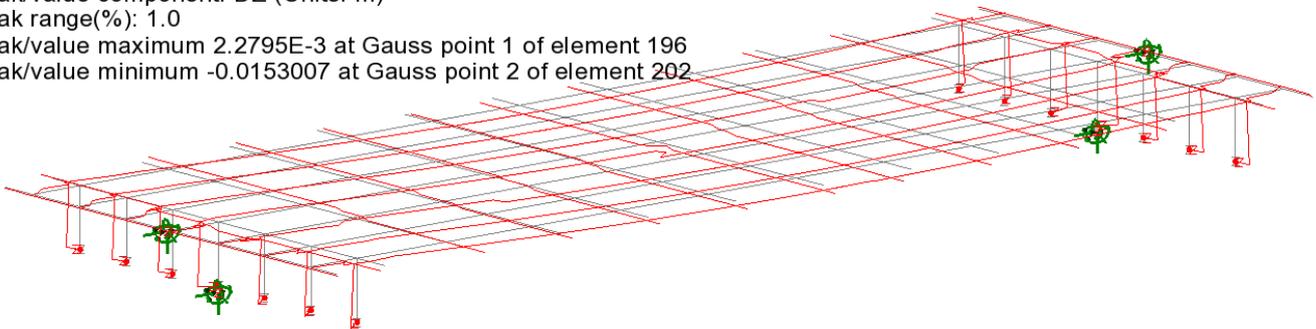
Peak/value entity: Displacement

Peak/value component: DZ (Units: m)

Peak range(%): 1.0

Peak/value maximum 2.2795E-3 at Gauss point 1 of element 196

Peak/value minimum -0.0153007 at Gauss point 2 of element 202



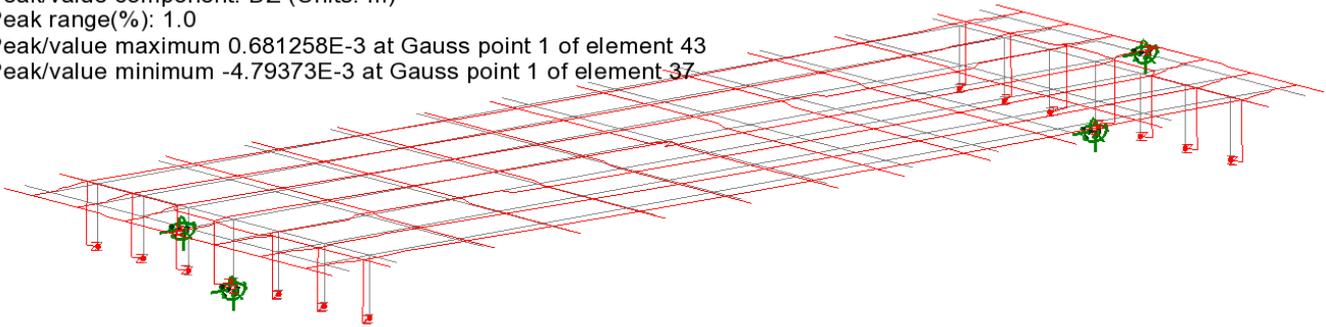
**Figura 6.34** frecce verticali - S.L.E. caratteristica

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	98 di 113

Combining on: DZ  
 EnvQk\_gr1\_3 (Min)  
 Maximum displacement 0.0197118 at Gauss point 7 of element 93  
 Deformation exaggeration: 14.5013

Peak/value entity: Displacement  
 Peak/value component: DZ (Units: m)  
 Peak range(%): 1.0  
 Peak/value maximum 0.681258E-3 at Gauss point 1 of element 43  
 Peak/value minimum -4.79373E-3 at Gauss point 1 of element 37



**Figura 6.35 freccie verticali - involucro Qk**

Si rileva in particolare, sotto l'azione dei carichi mobili:

$$\delta_{z,\min} = -4.8 \text{ mm}$$

$$L/\delta_z = 12820/4.8 = 2670$$

La freccia verticale sotto carico mobile appare pertanto soddisfacentemente limitata molto al di sotto del valore  $L/700$ , contemplato dal MdP 2.6.2.2.3.

## 6.7 Dispositivi di vincolo

La strategia di vincolo è basata sull'adozione di dispositivi elastomerici dotati di piastre metalliche superiore e inferiore vulcanizzate al cuscinetto elastomerico, atte a vincolare meccanicamente il dispositivo alla sovrastruttura ed alla sottostruttura.

Le caratteristiche elastiche dei dispositivi (dimensioni, ingombro e rigidità) sono state dedotte dal catalogo della produzione di uno dei maggiori produttori nazionali, e sono le seguenti:

Dimensione cuscinetto (diam. in mm)	400
Rigidità orizzontale (kN/mm)	1.9
Spessore totale (mm)	84

**Tabella 6.26 Caratteristiche dispositivi di vincolo**

La tabella seguente riporta le caratteristiche prestazionali garantite degli appoggi.

Appoggio tipo	D	h	h <sub>rt</sub>	W	SLE	SLU	SLE	SLU	SLE	SLU	SLE	SLU	K <sub>eq</sub>
					N <sub>k</sub>	N <sub>Ed</sub>	V <sub>k,xy</sub> +/-	V <sub>d,xy</sub> +/-	V <sub>k</sub>	V <sub>Ed</sub>	α <sub>k,xy</sub> +/-	α <sub>d,xy</sub> +/-	
					[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[mrad]	[mrad]	
E-Link B Ø400x24(16)	400	24	16	9,7	1586	2300	7	11	52	78	3,4	5,0	7,1
E-Link B Ø400x39(27)	400	39	27	15,0	1862	2700	15	22	61	92	4,8	7,0	4,2
E-Link B Ø400x54(38)	400	54	38	20,3	1931	2800	22	33	65	98	5,5	8,0	3,0
E-Link B Ø400x69(49)	400	69	49	25,6	1931	2800	29	44	68	102	6,9	10,0	2,3
E-Link B Ø400x84(60)	400	84	60	30,9	2000	2900	37	55	69	104	6,9	10,0	1,9
E-Link B Ø400x99(71)	400	99	71	36,1	2000	2900	44	66	70	105	6,9	10,0	1,6
E-Link B Ø400x114(82)	400	114	82	41,4	1793	2600	51	77	71	106	11,0	16,0	1,4
E-Link B Ø400x129(93)	400	129	93	46,7	1517	2200	59	88	71	107	15,2	22,0	1,2
E-Link B Ø400x144(104)	400	144	104	52,0	1310	1900	66	99	72	108	17,9	26,0	1,1
E-Link B Ø400x159(115)	400	159	115	57,3	1172	1700	73	110	72	108	20,7	30,0	1,0
E-Link B Ø400x174(126)	400	174	126	62,6	1034	1500	81	121	72	109	20,7	30,0	0,90

**Tabella 6.27 Caratteristiche prestazionali dei dispositivi prescelti (\*)**

(\*) Si presenta lo stralcio del catalogo afferente la produzione di uno dei maggiori produttori nazionali; è ovviamente ammesso l'utilizzo di dispositivi di qualsiasi produttore certificato EN 1337, di caratteristiche equivalenti a quelli prescelti.

### 6.7.1 Portate

I diagrammi seguenti, tratti direttamente dall'analisi FEM, riportano le sollecitazioni rilevate agli appoggi per le seguenti condizioni:

S.L.U. – max/min F<sub>x</sub>

S.L.U. – max/min F<sub>y</sub>

S.L.U. – max/min F<sub>z</sub>

E<sub>d</sub> - S.L.V. – max/min F<sub>x</sub>

E<sub>d</sub> - S.L.V. – max/min F<sub>y</sub>

E<sub>d</sub> - S.L.V. – max/min F<sub>z</sub>

S.L.E. – max/min F<sub>x</sub>

S.L.E. – max/min F<sub>y</sub>

S.L.E. – max/min F<sub>z</sub>

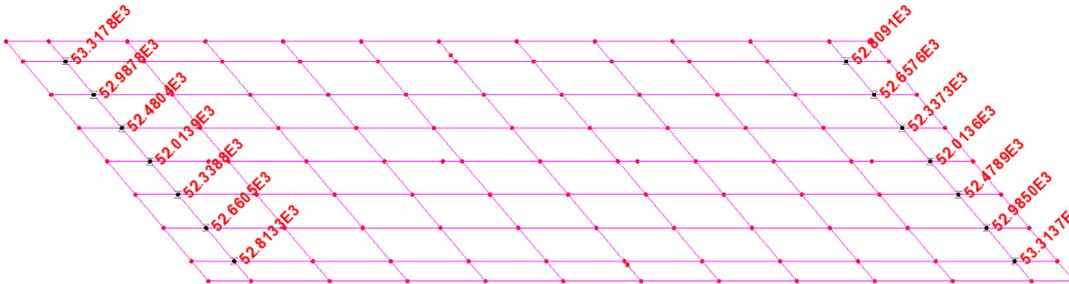
I valori indicati riportano direttamente, per ciascun dispositivo, il massimo e minimo valore di combinazione, e sono espressi in N.

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	100 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fx  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)

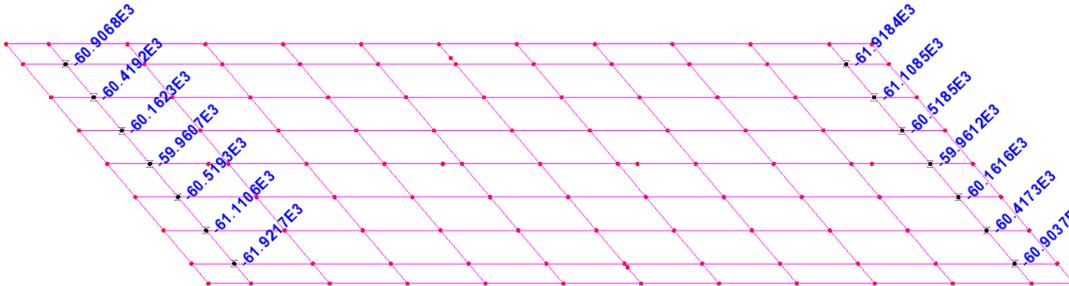
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fx (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum 53.3178E3 at Gauss point 1 of element 15  
Peak/value minimum 52.0136E3 at Gauss point 1 of element 10



inviluppo S.L.U. A1 - Max Fx - Fx

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fx  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)

Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fx (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -59.9607E3 at Gauss point 1 of element 9  
Peak/value minimum -61.9217E3 at Gauss point 1 of element 3



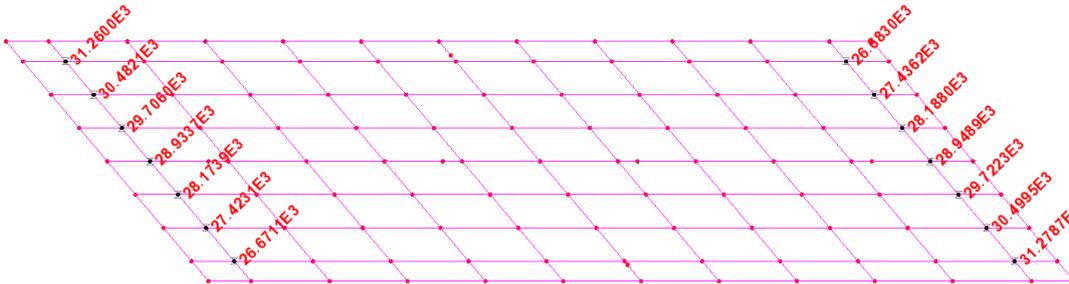
inviluppo S.L.U. A1 - Min Fx - Fx

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	101 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fy  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)

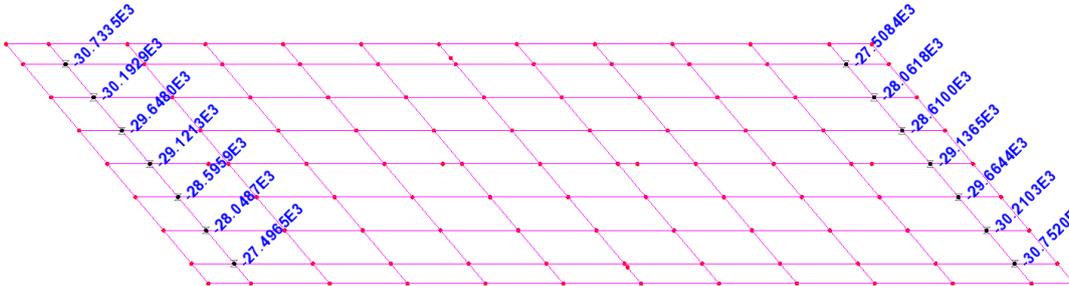
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fy (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum 31.2787E3 at Gauss point 1 of element 4  
Peak/value minimum 26.6711E3 at Gauss point 1 of element 3



inviluppo S.L.U. A1 - Max Fy - Fy

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fy  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)

Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fy (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -27.4965E3 at Gauss point 1 of element 3  
Peak/value minimum -30.752E3 at Gauss point 1 of element 4



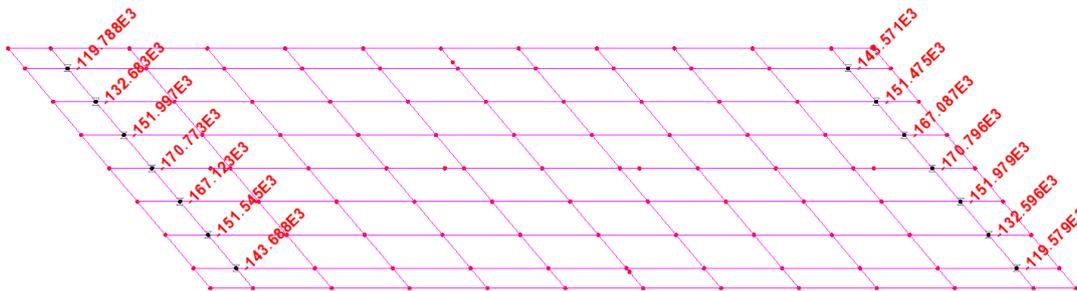
inviluppo S.L.U. A1 - Min Fy - Fy

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	102 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Max)

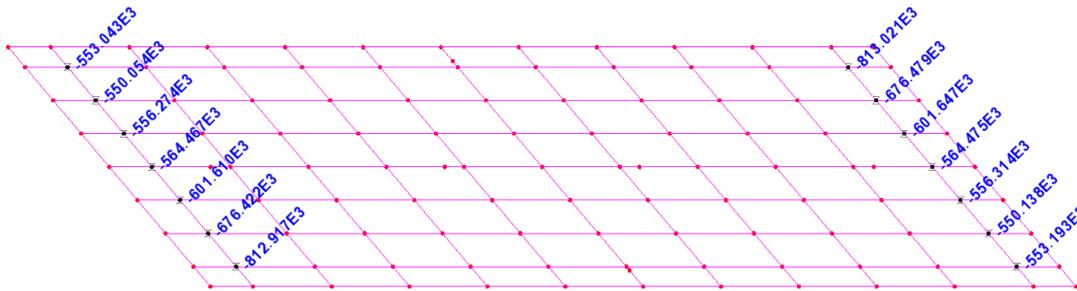
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fz (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -119.579E3 at Gauss point 1 of element 4  
Peak/value minimum -170.796E3 at Gauss point 1 of element 10



inviluppo S.L.U. A1 - Max Fz - Fz

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.U. A1 (Min)

Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fz (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -550.054E3 at Gauss point 1 of element 13  
Peak/value minimum -813.021E3 at Gauss point 1 of element 16



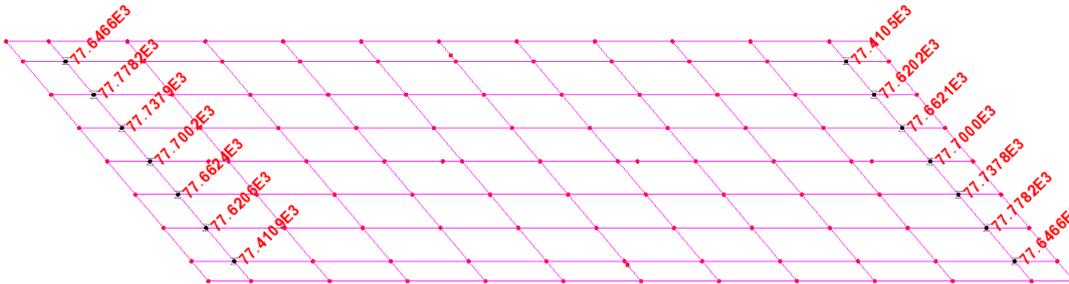
inviluppo S.L.U. A1 - Min Fz - Fz

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	103 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fx  
Gk + Ed\_SLV (Max)

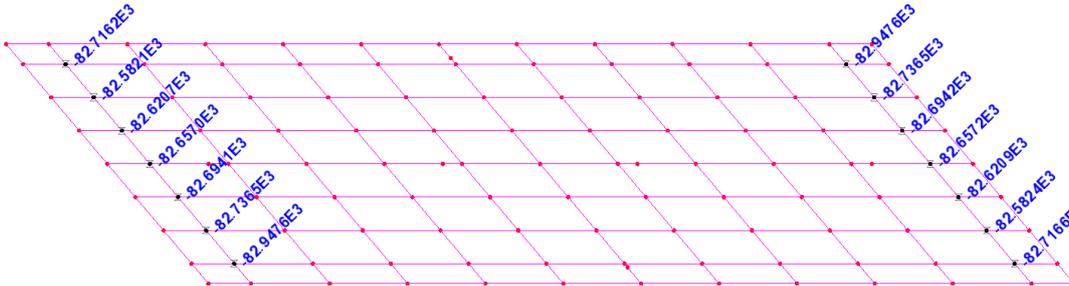
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fx (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum 77.7782E3 at Gauss point 1 of element 6  
Peak/value minimum 77.4105E3 at Gauss point 1 of element 16



Gk + Ed\_SLV - Max Fx - Fx

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fx  
Gk + Ed\_SLV (Min)

Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fx (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -82.5821E3 at Gauss point 1 of element 13  
Peak/value minimum -82.9476E3 at Gauss point 1 of element 3



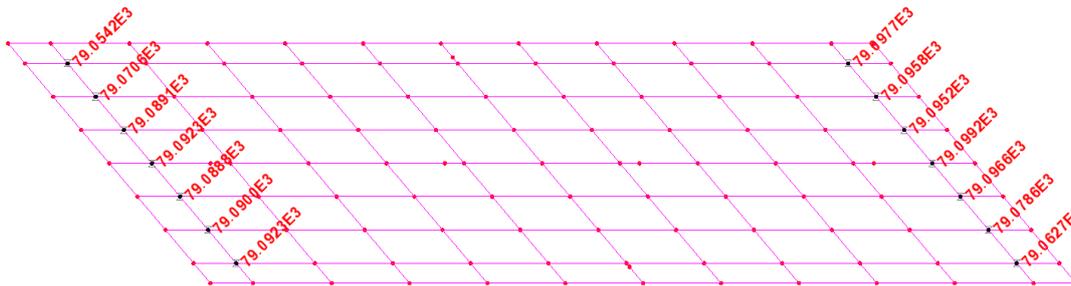
Gk + Ed\_SLV - Min Fx - Fx

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	104 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fy  
Gk + Ed\_SLV (Max)

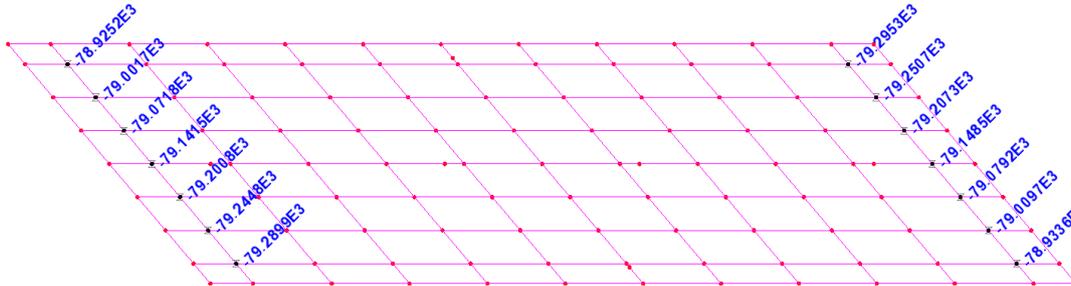
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fy (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum 79.0992E3 at Gauss point 1 of element 10  
Peak/value minimum 79.0542E3 at Gauss point 1 of element 15



Gk + Ed\_SLV - Max Fy - Fy

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fy  
Gk + Ed\_SLV (Min)

Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fy (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -78.9252E3 at Gauss point 1 of element 15  
Peak/value minimum -79.2953E3 at Gauss point 1 of element 16



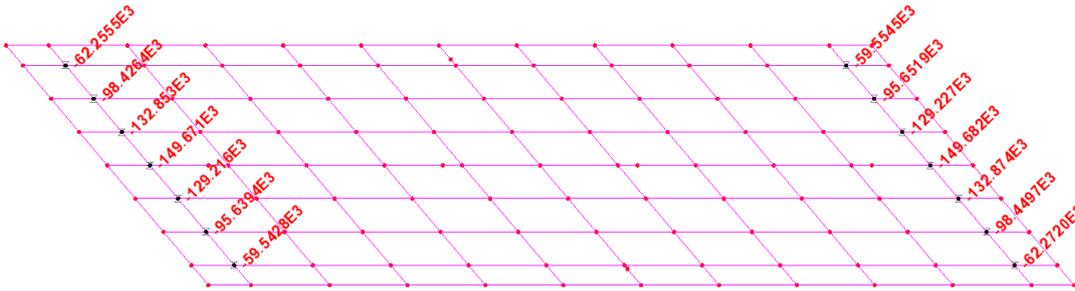
Gk + Ed\_SLV - Min Fy - Fy

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	105 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fz  
Gk + Ed\_SLV (Max)

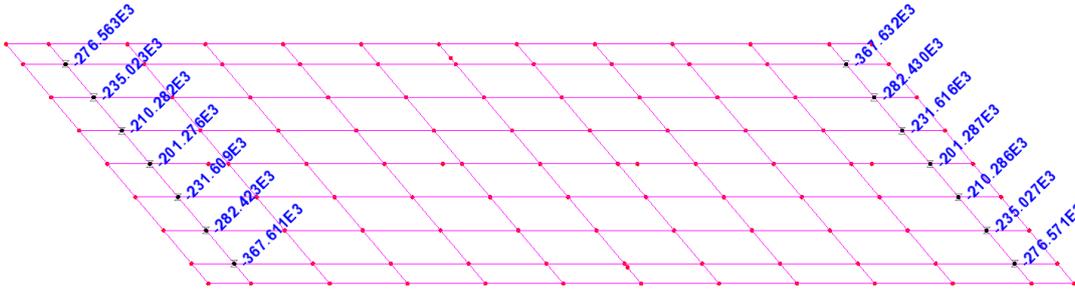
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fz (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -59.5428E3 at Gauss point 1 of element 3  
Peak/value minimum -149.682E3 at Gauss point 1 of element 10



Gk + Ed\_SLV - Max Fz - Fz

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fz  
Gk + Ed\_SLV (Min)

Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fz (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -201.276E3 at Gauss point 1 of element 9  
Peak/value minimum -367.632E3 at Gauss point 1 of element 16



Gk + Ed\_SLV - Min Fz - Fz

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	106 di 113

Scale: 1: 57.1694

Zoom: 100.0

Eye: (0.0, 0.0, 1.0)

Combining on: Fx

Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)

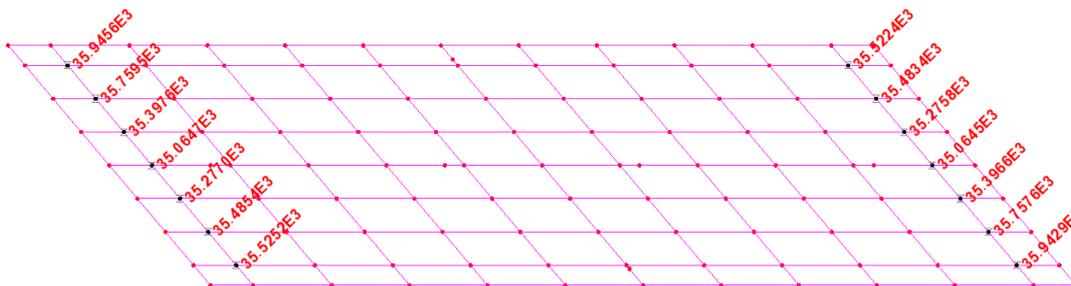
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)

Peak/value component: Fx (Units: N)

Peak range(%): 1.0

Peak/value maximum 35.9456E3 at Gauss point 1 of element 15

Peak/value minimum 35.0645E3 at Gauss point 1 of element 10



inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fx - Fx

Scale: 1: 57.1694

Zoom: 100.0

Eye: (0.0, 0.0, 1.0)

Combining on: Fx

Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)

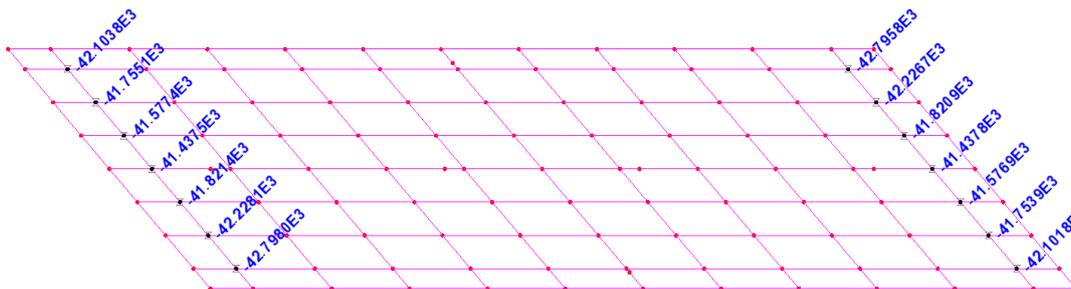
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)

Peak/value component: Fx (Units: N)

Peak range(%): 1.0

Peak/value maximum -41.4375E3 at Gauss point 1 of element 9

Peak/value minimum -42.798E3 at Gauss point 1 of element 3



inviluppo S.L.E. caratteristica - Min Fx - Fx

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	107 di 113

Scale: 1: 57.1694

Zoom: 100.0

Eye: (0.0, 0.0, 1.0)

Combining on: Fy

Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)

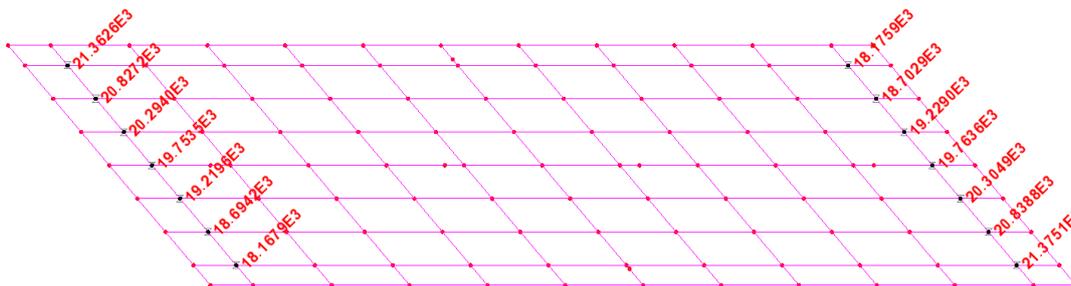
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)

Peak/value component: Fy (Units: N)

Peak range(%): 1.0

Peak/value maximum 21.3751E3 at Gauss point 1 of element 4

Peak/value minimum 18.1679E3 at Gauss point 1 of element 3



inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fy - Fy

Scale: 1: 57.1694

Zoom: 100.0

Eye: (0.0, 0.0, 1.0)

Combining on: Fy

Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)

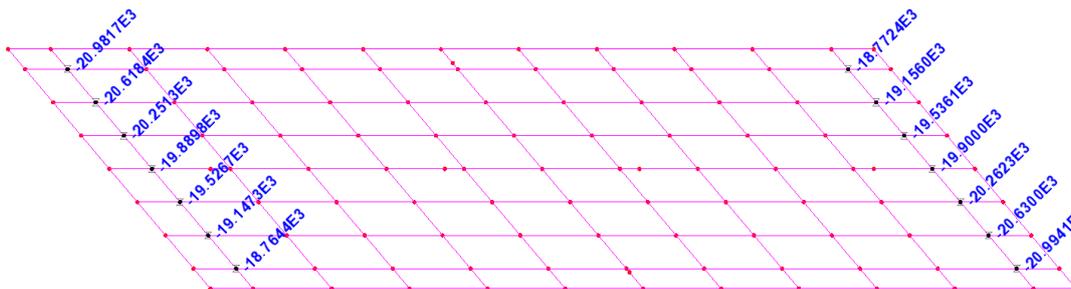
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)

Peak/value component: Fy (Units: N)

Peak range(%): 1.0

Peak/value maximum -18.7644E3 at Gauss point 1 of element 3

Peak/value minimum -20.9941E3 at Gauss point 1 of element 4

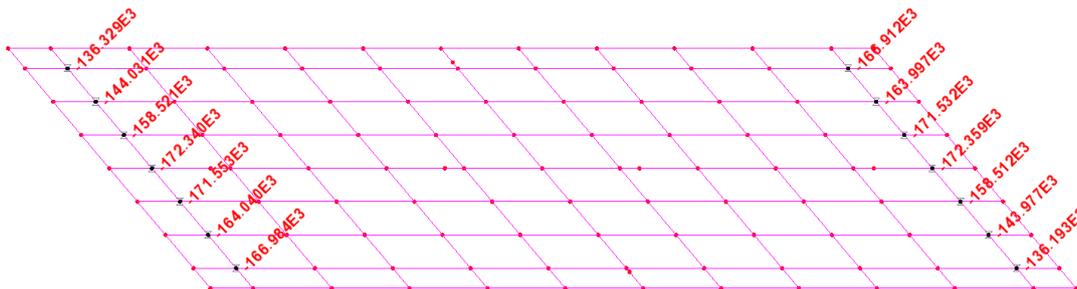


inviluppo S.L.E. caratteristica - Min Fy - Fy

Relazione di calcolo impalcato interno

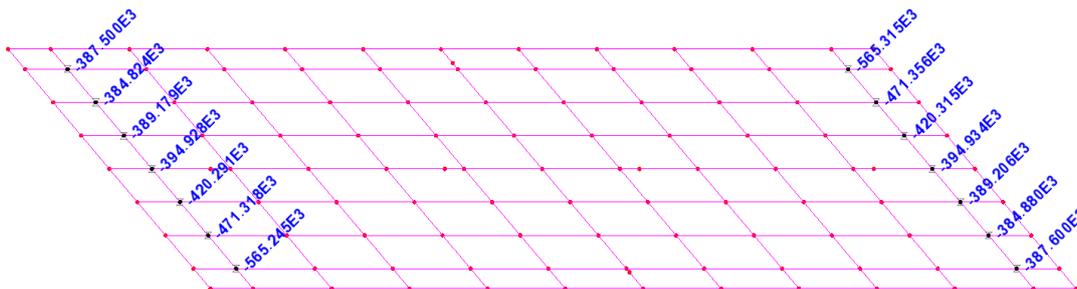
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	108 di 113

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Max)  
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fz (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -136.193E3 at Gauss point 1 of element 4  
Peak/value minimum -172.359E3 at Gauss point 1 of element 10



inviluppo S.L.E. caratteristica - Max Fz - Fz

Scale: 1: 57.1694  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0, 0.0, 1.0)  
Combining on: Fz  
Inviluppo S.L.E. caratteristica (Min)  
Peak/value entity: Force/Moment - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Fz (Units: N)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum -384.824E3 at Gauss point 1 of element 13  
Peak/value minimum -565.315E3 at Gauss point 1 of element 16



inviluppo S.L.E. caratteristica - Min Fz - Fz

In tabella si riportano i valori estremi rilevati per ciascuno stato limite (valori coincidenti con quelli mostrati nelle figure precedenti).

Valori massimi agli appoggi (kN)						
	Max Fx	Min Fx	Max Fy	Min Fy	Max Fz	Min Fz
S.L.U.	54	-62	31.3	-31	-120	-813
Gk+Ed SLV	78	-83	79	-79.3	-59.5	-368
S.L.E.	36	-43	22	-21	-136.2	-566

**Tabella 6.28 Valori massimi agli appoggi**

In favore di sicurezza si combinano, in valore assoluto, la massime azioni di Fx ed Fy rispettivamente con i corrispondenti valori correlati Fy e Fx dando luogo ad un taglio  $V=(F_x^2+F_y^2)^{0.5}$  come riportato nelle tabelle riassuntive seguenti.

	Fxmax		V	Fxmin		V
	Fx	Fy	$(F_x^2+F_y^2)^{0.5}$	Fx	Fy	$(F_x^2+F_y^2)^{0.5}$
	N	N	N	N	N	N
<b>SLU</b>	53318	-8283	53958	-61922	-10971	62886
<b>SLV</b>	77700	33243	84513	-82950	-33381	89415
<b>SLE</b>	35950	-5500	36368	-42798	-7370	43428

	Fymax		V	Fymin		V
	Fx	Fy	$(F_x^2+F_y^2)^{0.5}$	Fx	Fy	$(F_x^2+F_y^2)^{0.5}$
	N	N	N	N	N	N
<b>SLU</b>	16270	31279	35257	-24400	-30752	39256
<b>SLV</b>	29857	79100	84547	-35183	-79295	86750
<b>SLE</b>	10607	21375	23862	-17140	-20994	27102

IL massimo valore di  $V = 89.42$  kN è inferiore al valore di resistenza del dispositivo scelto pari a 104 kN

La sicurezza è garantita anche per i carichi verticali dove il massimo valore assoluto allo SLU di Fz è pari a 813 kN contro una resistenza di 2900 kN e quello allo SLE è pari a 566 kN contro una resistenza di 2000 kN.

### 6.7.2 Escursioni appoggi

Le massime/minime escursioni agli appoggi vengono dedotte direttamente dalla sollecitazione, applicando la rigidità del dispositivo, pari a  $1.9e6$  N/m nelle due direzioni.

La tabella seguente riporta il calcolo, condotto per i dispositivi sede delle maggiori sollecitazioni/deformazioni.

**Deformazioni orizzontali massime appoggi (mm)**

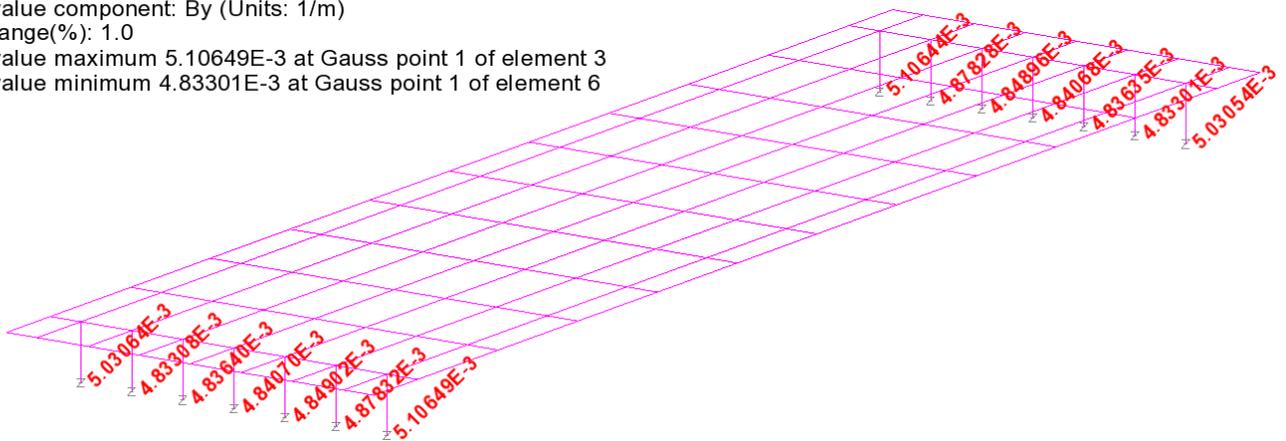
	Max $\delta_x$	Min $\delta_x$	Max $\delta_y$	Min $\delta_y$
S.L.U.	28.1	-32.6	16.5	-16.2
Ed SLV	40.9	-43.7	41.6	-41.7
S.L.E.	18.9	-22.5	11.3	-11.1

**Tabella 6.29** Massime deformazioni agli appoggi

**6.7.3 Rotazioni agli appoggi**

La figura seguente riporta, per l'involuppo S.L.U., i valori estremi delle massime/minime rotazioni rilevate in corrispondenza dei dispositivi di vincolo. Il sistema di riferimento impiegato per i joints dei dispositivi di vincolo prevede rotazioni "positive" se rivolte verso l'interno luce.

Scale: 1: 54.1568  
 Zoom: 100.0  
 Eye: (-0.450107, -0.692156, 0.564202)  
 Combining on: By  
 Involuppo S.L.U. A1 (Max)  
 Peak/value entity: Strain - 3D Joint (JSH4,JL46)  
 Peak/value component: By (Units: 1/m)  
 Peak range(%): 1.0  
 Peak/value maximum 5.10649E-3 at Gauss point 1 of element 3  
 Peak/value minimum 4.83301E-3 at Gauss point 1 of element 6


**Figura 6.36** Rotazione appoggi - S.L.U.

Le rotazioni più impegnative si rilevano in corrispondenza degli appoggi più interni dell'impalcato, con:

$$\theta_{\max} = 5.11 \text{ e-}3 \text{ rad} < 0.01 \text{ rad}$$

Le rotazioni risultano pertanto ampiamente tollerabili da parte dei dispositivi prescelti.

## 6.8 Giunti e varchi

### 6.8.1 Escursione giunti

Le deformazioni in corrispondenza dei giunti vengono “lette” direttamente dall’elaborazione F.E.M. predisponendo uno specifico elemento joint di rigidezza infinitesima alla quota estradosso struttura, assunta come quota piano di posa giunto.

La valutazione dell’escursione di progetto viene effettuata con riferimento a quanto contenuto nel MdP 2.5.2.1.5.1., valutando l’escursione totale complessiva come somma dei seguenti contributi:

$$E_L = k_1 \times (E_1 + E_2 + E_3)$$

Con:

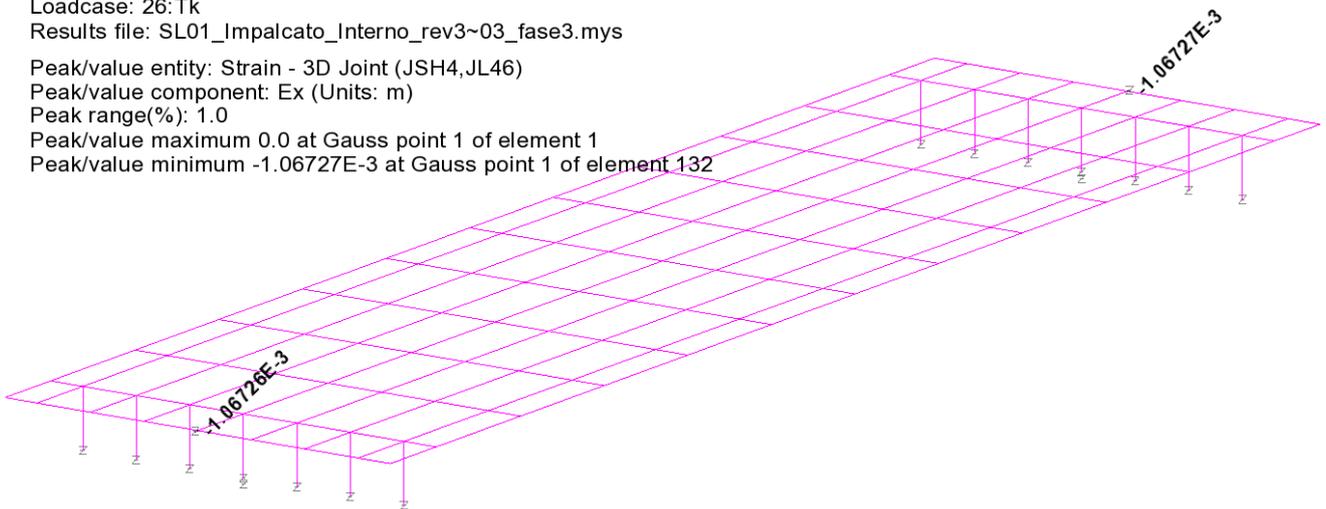
E1 = spostamenti di origine termica

E2 = spostamenti dovuti all’azione sismica

E3 = spostamenti dovuti al movimento relativo di strutture non collegate

La figura seguente riporta la valutazione dello spostamento termico e sismico (condizione sisma SLV) a quota giunto, dedotto dall’analisi FEM.

Scale: 1: 49.9795  
Zoom: 100.0  
Eye: (-0.450107, -0.692156, 0.564202)  
Linear/dynamic analysis  
Analysis: 03\_fase3  
Loadcase: 26:Tk  
Results file: SL01\_Impalcato\_Interno\_rev3~03\_fase3.mys  
Peak/value entity: Strain - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Ex (Units: m)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum 0.0 at Gauss point 1 of element 1  
Peak/value minimum -1.06727E-3 at Gauss point 1 of element 132



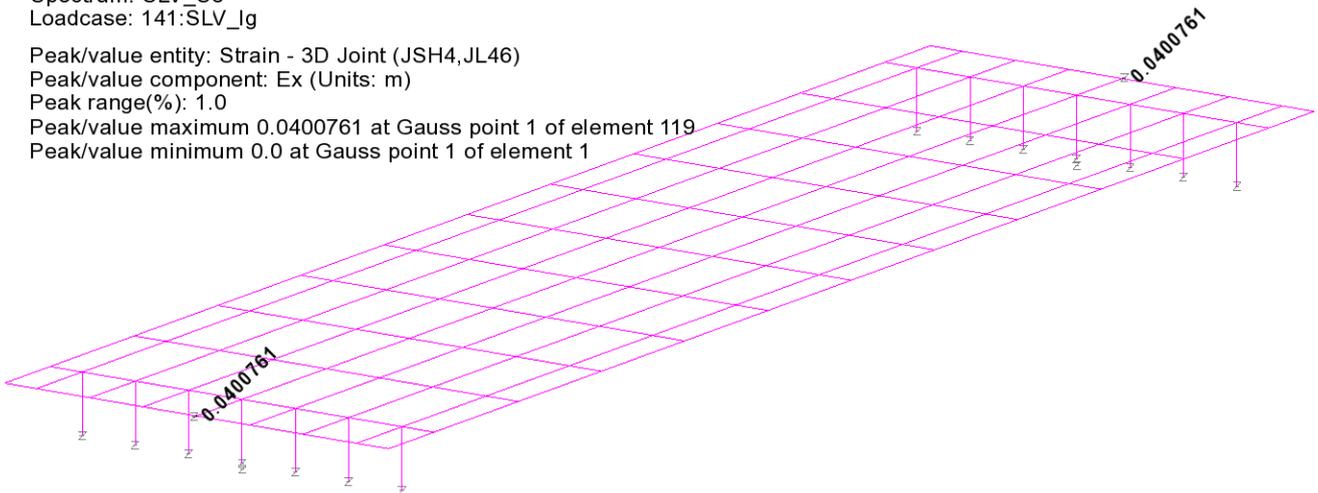
**Figura 6.37 Escursione giunti Dt**

In osservanza a quanto previsto dal MdP, lo spostamento termico di progetto Dt verrà calcolato amplificando del 50 % lo spostamento di origine termica:

$$D_t = 1.5 \times 1.067 = 1.60 \text{ mm}$$

Scale: 1: 49.9795  
Zoom: 100.0  
Eye: (-0.450107, -0.692156, 0.564202)  
Spectral response analysis  
CQC combination  
Spectrum: SLV\_Se  
Loadcase: 141:SLV\_lg

Peak/value entity: Strain - 3D Joint (JSH4,JL46)  
Peak/value component: Ex (Units: m)  
Peak range(%): 1.0  
Peak/value maximum 0.0400761 at Gauss point 1 of element 119  
Peak/value minimum 0.0 at Gauss point 1 of element 1



**Figura 6.38 Escursione giunti - sisma SLV**

$$d_{ed} = 40 \text{ mm}$$

Per quanto riguarda il contributo E3, lo spostamento sismico assoluto della spalla risulta dalla formula:

$$d_g = 0.025 a_g S_c T_c T_d = 0.025 \times 0.201 \times 10 \times 1.2 \times 0.396 \times 2.404 = 57 \text{ mm}$$

Ipotizzando identiche caratteristiche orografiche tra i due punti, si ha:

$$d_{i,j} \text{ max} = 1.25 \times (2 \times 57^2)^{0.5} = 100.76 \text{ mm}$$

Considerando  $V_s = 360 \text{ m/s}$ , si ha, per suolo tipo B, e distanza tra le due spalle pari a 12.82 m (cfr. NTC2018 3.2.4.3):

$$d_{ij}(12.82) = d_{eg} = 100.76 \times (3 \times 12.82 / 360) = 10.76 \text{ mm}$$

L'escursione complessiva totale risulta quindi:

$$E_L = 0.45 \times (2 \times 1.60 + 4 \times 40 \times 0.55 + 2 \times 10.76) = 50.72 \text{ mm}$$

Con riferimento al MdP, visto che  $a_g < 0.25g$ , l'escursione minima del giunto verrà valutata considerando il massimo tra il valore ora calcolato, ed i seguenti:

$$E_{L,\text{min}} = 2.3 \times 12.82 / 1000 + 0.073 = 0.103 \text{ m}$$

$$E_{L,\text{min}} = 0.10 \text{ m}$$

La scelta delle caratteristiche prestazionali del giunto verrà pertanto effettuata con riferimento al primo degli dei due valori limite  $E_{L,\text{min}} = 0.103 \text{ m}$ .

Si predisporrà pertanto un giunto caratterizzato da escursione complessiva +/- pari a 110 mm.

Relazione di calcolo impalcato interno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 01 00 003	A	113 di 113

### 6.8.2 Ampiezza minima varco giunti

Con riferimento al MdP, 2.5.2.1.5.4, l'ampiezza di progetto del varco giunti verrà determinata con riferimento al valore minimo:

$$V = E_L/2 + V_0 = 110/2 + 20 = 75 \text{ mm}$$

Dove  $V_0 = 20 \text{ mm}$

Si predispone pertanto un varco maggiore di 75 mm

## 7 INCIDENZE

Impalcato

Incidenza armatura acciaio = 30 kg/mc