

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA CATANIA - SIRACUSA

### DIREZIONE TECNICA

U.O. Coordinamento di Sistema e PFTE

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

### Bypass di Augusta

FV01 Scatolare di stazione Augusta

Relazione tecnico-descrittiva e di predimensionamento

SCALA:

-

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

RS60 00 R 14 RH FV0100 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	PINI	Ottobre 22	A.Ciavarella	Ottobre 22	P. Carlesimo	Ottobre 22	G.Ingrosso Febbraio 23
B	aggiornamento a seguito di verifica 1° livello e tecnica	R.Posati	Gennaio 23	F. Mingrone	Gennaio 23	P.Carlesimo	Gennaio 23	ITALFERR S.p.A. COORDINAMENTO DI SISTEMA Dott. Ing. GIULIANO INGROSSO Dif. degli Ingegneri di ROMA N. 101/02
C	Istruttoria RFI	R.Posati	Febbraio 23	F. Mingrone	Febbraio 23	P.Carlesimo	Febbraio 23	

File: RS60\_00\_R\_14\_RH\_FV0100\_001\_C

n. Elab.: 1

## Sommario

1.	GENERALITA'	4
2.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	5
3.	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	9
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
3.2	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)	10
3.3	SOFTWARE IMPIEGATI	10
3.3.1	<i>Caratteristiche del codice di calcolo</i>	10
3.3.2	<i>Grado di affidabilità del codice</i>	11
3.3.3	<i>Motivazione della scelta del codice</i>	11
3.3.4	<i>Validazione del codice di calcolo</i>	11
4.	CARATTERISTICHE MATERIALI	12
4.1	CALCESTRUZZO	12
4.1.1	<i>Magrone</i>	13
4.1.2	<i>Calcestruzzo per soletta di fondazione, pilastri, setti e soletta di copertura</i>	13
4.2	ACCIAIO	13
4.3	ACCIAIO DI ARMATURA PER C.A.	13
5.	CLASSE DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRO	15
6.	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE	16
7.	MODELLO DI CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI	17
7.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	17
8.	ANALISI DEI CARICHI	20
8.1	G1: PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA	20
8.2	G2: PERMANENTI PORTATI	22
8.3	RITIRO	23
8.4	Q1: SOVRACCARICO SULLA SOLETTA NUOVA STAZIONE	26
8.5	Q2: CARICO DA NEVE	30
8.6	Q3: AZIONE DEL VENTO	30
8.7	Q4: AZIONI TERMICHE	36
8.8	E: AZIONI SISMICHE	36
9.	COMBINAZIONI DI CARICO	39
10.	RISULTATI DELLE ANALISI	46

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	3 di 91

10.1	SOLLECITAZIONI ALLO SLU.....	47
10.2	SOLLECITAZIONI ALLO SLE .....	57
10.2.1	<i>Combinazione Rara (Caratteristica)</i> .....	58
10.2.2	<i>Combinazione quasi permanente</i> .....	67
11.	VERIFICHE SLU.....	75
11.1	SOLAIO DI COPERTURA .....	75
11.2	SOLAIO INTERMEDIO .....	78
11.3	PIEDRITTI.....	81
11.4	SOLAIO DI FONDAZIONE.....	84
12.	VERIFICHE SLE .....	87
12.1	SOLAIO DI COPERTURA .....	87
12.2	SOLAIO INTERMEDIO .....	88
12.3	PIEDRITTI.....	89
12.4	SOLAIO DI FONDAZIONE.....	90
13.	SCARICHI IN FONDAZIONE .....	91

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

4 di 91

## 1. GENERALITA'

Scopo della presente relazione è quello di illustrare il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica del Bypass di Augusta, intervento che rientra nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

La città di Augusta, sita in provincia di Siracusa, è attualmente attraversata dalla direttrice ferroviaria che collega tra di loro i due capoluoghi di Catania e Siracusa. L'attuale tracciato in corrispondenza dell'attraversamento del territorio comunale augustano è composto da un singolo binario con una serie di curve e controcurve che permettono l'avvicinamento della ferrovia al nucleo storico della città (Figura 1). Il tracciato dell'attuale linea ferroviaria attraversa per 2 tratti l'area protetta delle Saline di Augusta (subito prima e subito dopo il centro abitato) e presenta 3 passaggi a livello che implicano diversi disagi per la circolazione all'interno della città di Augusta in particolare a causa del PL in prossimità dell'attuale Stazione.



Figura 1 Progetti in essere nell'area di Augusta

Il progetto prevede la realizzazione di una variante al tracciato della linea Messina-Siracusa in prossimità della città di Augusta e la realizzazione di una nuova stazione ubicata fuori dal centro abitato, in zona di nuova espansione per perseguire i seguenti obiettivi:

- Riqualificazione urbana;
- Liberazione del centro abitato di Augusta dalla ferrovia ed annessi PL;
- Riduzione dell'impatto della linea sulle aree protette (saline).

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	5 di 91

La variante di Augusta oggetto della presente relazione consente di raggiungere tutti gli obiettivi prefissati oltre a contribuire alla riduzione dei tempi di percorrenza della tratta dato che il nuovo progetto prevede 2,8 km di tracciato in sostituzione degli oltre 7 km di linea storica. Inoltre, il nuovo tracciato risolve le interferenze con le viabilità esistenti non apportando significative modifiche alle arterie principali presenti sul territorio

Come già anticipato, nel tratto in variante è prevista la realizzazione di una nuova stazione passeggeri caratterizzata da banchine di 250 m. Al fine di assicurare una adeguata connessione al territorio, questa sarà dotata di un parcheggio e collegata al centro abitato dalle viabilità già presenti sul territorio.

Questa relazione di calcolo si inserisce nell'ambito della fase di fattibilità tecnico economica del Bypass di Augusta, per il calcolo dello scatolare di stazione denominato FV01 funzionale alla nuova stazione di Augusta.

Date le caratteristiche geometriche si rende necessario analizzare la struttura mediante un apposito modello agli elementi finiti.

L'opera FV01 planimetricamente si colloca tra le progressive del Bypass, a partire della fine della GA01 tra il km 0+591,85 e km 0+845, e accoglie nella parte centrale, piu' larga gli accessi alla nuova Stazione di Augusta, sostenendo il doppio binario, con marciapiedi e pensiline.

## **2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO**

L'opera consiste in uno scatolare che ospita la nuova stazione di Augusta. La struttura è suddivisa in tre parti, di cui la parte centrale accoglie anche le scale e gli ascensori. La sezione dello scatolare dei due tratti laterali presenta una larghezza in testa di 16m, mentre la parte centrale, lunga circa 53m, ha una larghezza di 22m comprensiva del corpo scale. L'opera si estende dal km 0+591 al km 0+845 per uno sviluppo complessivo di 254 m. Su gran parte della struttura sono presenti marciapiedi, che proseguono sul rilevato adiacente. La struttura è in entrambe le sezioni formata da un solaio strutturale superiore di spessore strutturale di 1.00m nella parte centrale fino a poi ad arrivare ad uno spessore medio pari a 1.70m in corrispondenza dei muri laterali con piedritti di 1.00m e una altezza media di circa 9.25 m.

La sezione seguente, la più stretta, parte dalla fine della GA01, al km 591.85 e finisce dopo circa 151.30 m in corrispondenza della parte centrale. È uguale alla parte finale, lunga circa 49m partendo dalla fine del corpo stazione centrale, e presenta, in entrambe i tratti, la configurazione seguente.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	6 di 91

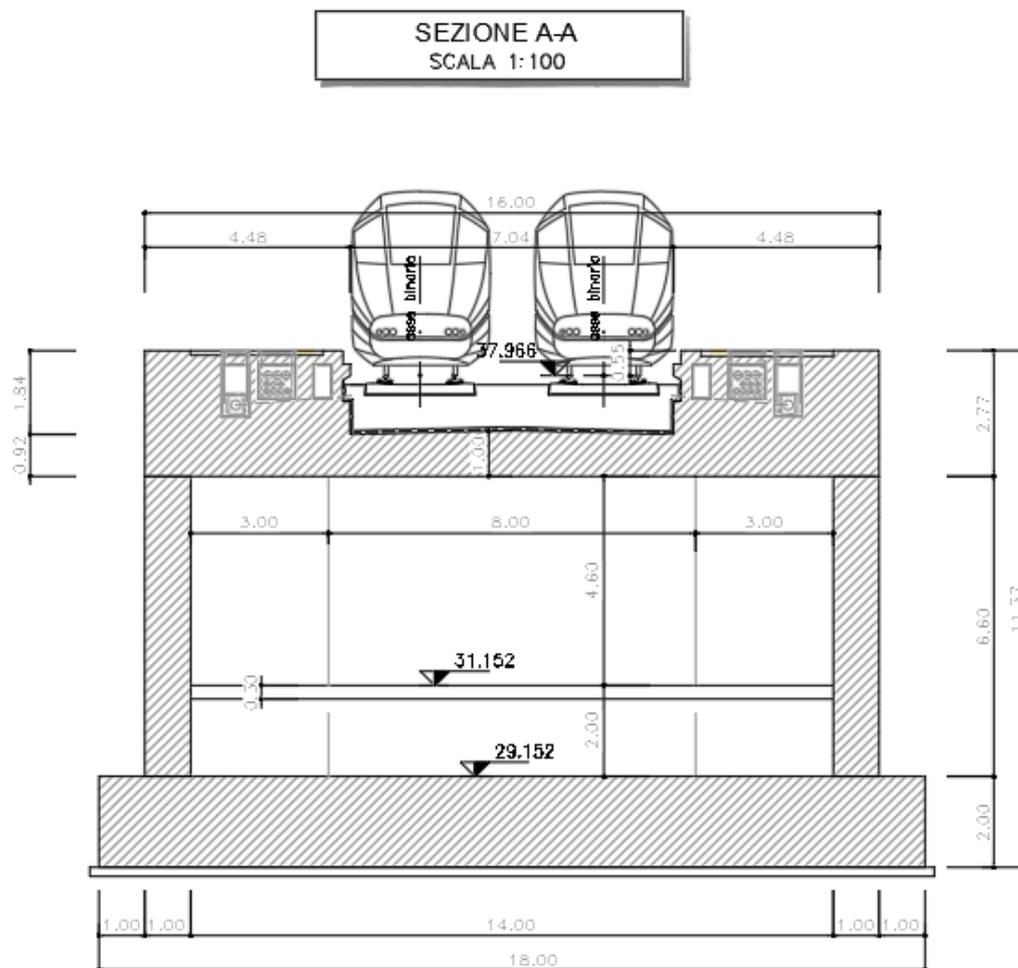


Figura 2.1 Sezione tipo nella parte iniziale e finale

All'interno dello scatolare, con passo costante, sono presenti dei piedritti di forma U avente spessore costante pari a 1.2 m, la soletta intermedia invece è spessa 0.3 m ed infine la fondazione ha larghezza pari a 18 m e spessore pari a 2.0 m. La lunghezza complessiva dell'opera è pari a circa 253 m.

La sezione seguente è quella in corrispondenza della zona centrale, lunga di 50.65m, necessaria ad accogliere le scale e l'ascensore per l'accessibilità alle banchine di stazione.

Presenta una fondazione larga 25 m, spessa 2.00m, i pedritti sono sempre di 1.20m mentre i setti sono larghi 3.70m e spessi 1.20m a passo costante.

Lo scatolare ospita al suo interno nel corpo centrale ospita locali destinati alle funzionalità della stazione, quali biglietteria, sala d'attesa, atrio di ingresso, servizi igienici, locali di promozione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	7 di 91

turistica, locali tecnici, area parcheggio bici. Il solaio intermedio garantisce l'altezza utile degli spazi adibiti alle funzionalità di cui sopra.

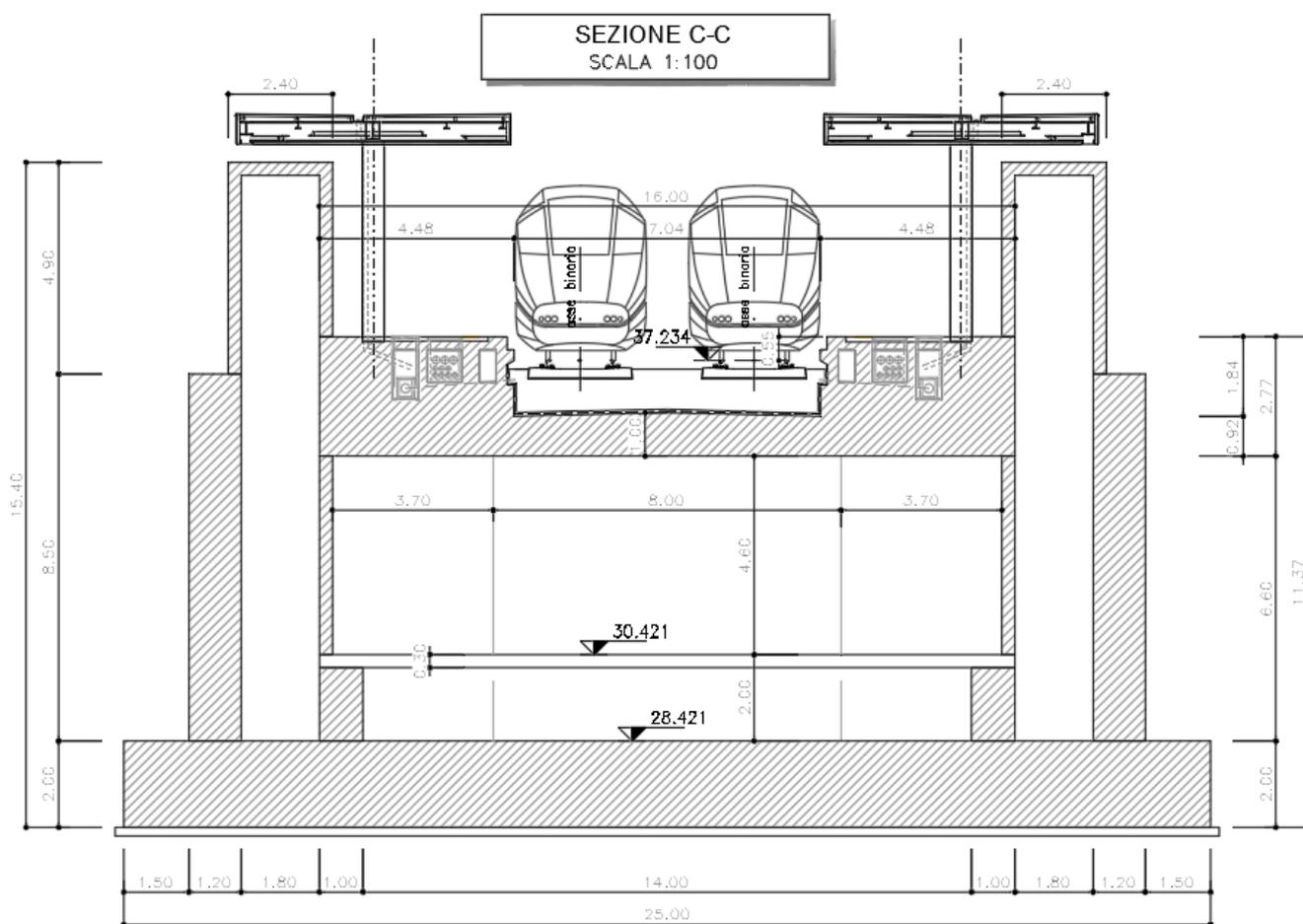


Figura 2.2 Sezione tipo nella parte centrale scale-ascensori

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	8 di 91

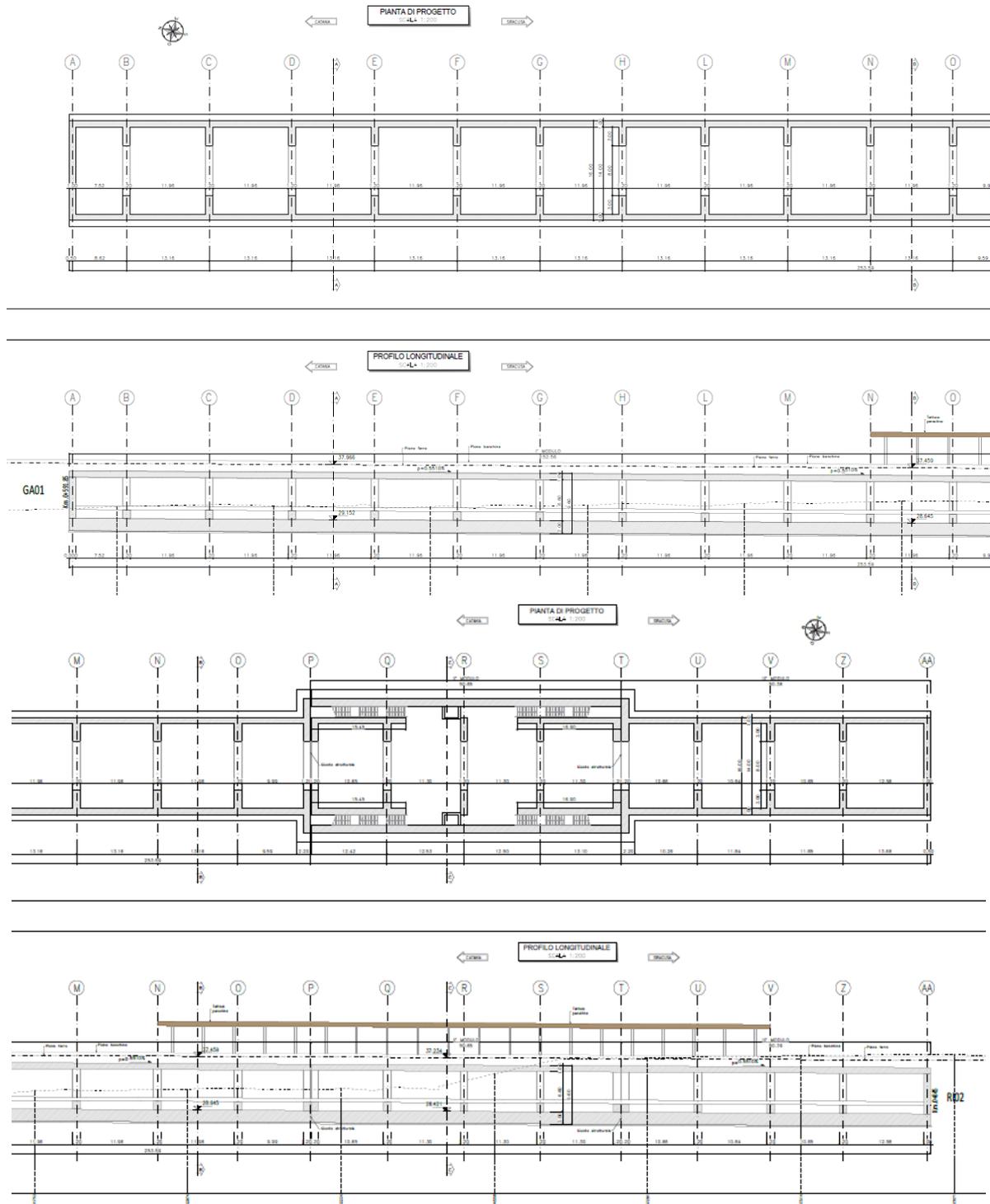


Figura 2.3 Pianta e sezione longitudinale dell'opera

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	9 di 91

Per la definizione delle dimensioni strutturali sono stati fatti preliminari calcoli strutturali mediante lo sviluppo di un modello FEM della sola parte di struttura costituita dalla sezione corrente priva dei corpi scale, ascensori e pensiline presenti solamente nel corpo centrale. Nella successiva fase progettuale verrà approfondito il calcolo della struttura mediante modelli FEM più sofisticati e dettagliati, e verrà sviluppato un modello dedicato al corpo centrale.

### **3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

#### **3.1 Normativa di riferimento**

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono effettuate in accordo con le prescrizioni di seguito elencate e conformi alle normative vigenti:

- [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni»
- [2] UNI EN 1992-1-1: Eurocodice 2 – Progettazione strutture in CA
- [3] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 11 febbraio 2019, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- [4] Decreto Ministeriale 28/10/2005. "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie";
- [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente "la sicurezza nelle gallerie ferroviarie" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le "persone a mobilità ridotta" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [7] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità; modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019.

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	10 di 91

### 3.2 Prescrizioni e specifiche tecniche (RFI, ITF)

- [8] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 E)
- [9] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (RFI DTC SI AM MA IFS 001 D – rev 31/12/2020)
- [10] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – rev 31/12/2020)
- [11] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 E – rev 31/12/2020)
- [12] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 E – rev 31/12/2020)
- [13] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 D – rev 31/12/2020)
- [14] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 E – rev 31/12/2020)
- [15] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 E “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili” datato Dic 2020.

### 3.3 Software impiegati

Il calcolo delle strutture è stato effettuato utilizzando il programma ad elementi finiti *Midas Civil 2018 vers 2.2* della Midas Information Technology, distribuito da Harpaceas – Milano.

Come consigliato nel Par. 10.2 di [1], si riportano alcune informazioni sul codice di calcolo usato per l’analisi degli elementi strutturali esaminati.

#### 3.3.1 Caratteristiche del codice di calcolo

Il codice esegue l’analisi di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà, utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono di tipo trave, con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse, e guscio, sia rettangolare sia triangolare, avente comportamento di membrana e di piastra. I carichi possono

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	11 di 91

essere applicati ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, coppie e distorsioni termiche, sia sugli elementi guscio come carichi d'area. I vincoli esterni sono definiti da sei costanti di rigidità elastica.

### 3.3.2 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, che riporta, per una serie di strutture significative, i confronti tra le analisi effettuate con il codice e quelle effettuate con codici di confronto (SAP2000 prodotto da Computers and Structures, Inc., California). Al termine dell'elaborazione viene valutata la correttezza della soluzione, sulla base dell'uguaglianza numerica tra lavoro esterno ed energia di deformazione. La presenza di un modulo CAD per l'introduzione dei dati permette la visualizzazione dettagliata degli elementi e dei carichi introdotti. E' possibile ottenere rappresentazioni grafiche di deformate, sollecitazioni e stati di tensione della struttura.

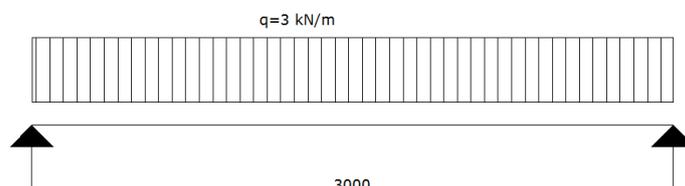
### 3.3.3 Motivazione della scelta del codice

Midas Civil permette l'analisi dettagliata del comportamento dell'intera struttura. E' possibile inoltre scegliere il grado di affinamento dell'analisi di elementi complessi utilizzando schematizzazioni via via più dettagliate.

### 3.3.4 Validazione del codice di calcolo

La validazione del codice di calcolo viene eseguito confrontando i risultati delle sollecitazioni ottenute tramite calcolo manuale di una trave semplicemente appoggiata e la risoluzione della stessa struttura con stesse caratteristiche geometriche e carichi da parte del programma di calcolo ad elementi finiti utilizzato per la modellazione strutturale.

## SOLUZIONE MANUALE



- $L = 3 \text{ m}$
- $q = 3 \text{ kN/m}$
- $M = q \cdot L^2 / 8 = 3.375 \text{ kNm}$
- $V = q \cdot L / 2 = 4.5 \text{ kN}$

## SOLUZIONE PROGRAMMA AD ELEMENTI FINITI

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

12 di 91

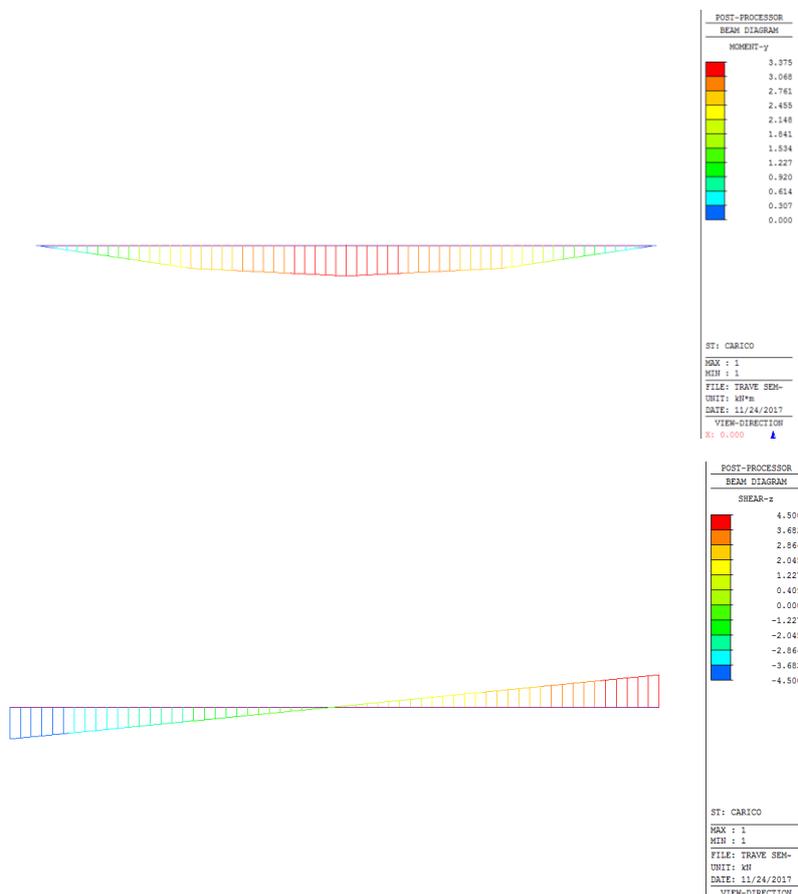


Figura 3.1 Verifica affidabilità del codice di calcolo impiegato

I risultati sono coincidenti, il programma può di conseguenza considerarsi valido.

#### 4. CARATTERISTICHE MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni delle NTC18 e del "Manuale di progettazione delle opere civili" RFI\_DTC\_SI\_MA IFS\_001\_E.

##### 4.1 Calcestruzzo

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	13 di 91

#### 4.1.1 Magrone

Classe di resistenza = C12/15

#### 4.1.2 Calcestruzzo per soletta di fondazione, pilastri, setti e soletta di copertura

$\gamma_c$  = peso specifico = 25.00 kN/m<sup>3</sup>

Classe di resistenza = C32/40

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 40.0 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83  $R_{ck}$  = 33.2 N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8$  = 41.2 N/mm<sup>2</sup>

$f_{cd}$  = resistenza di calcolo a compressione =  $\alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$  = 0.85 \* 30/1.5 = 18.8 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media = 0.30 \*  $f_{cm}^{2/3}$  = 3.09 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctfm}$  = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 \*  $f_{ctm}$  = 3.70 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk}$  = resistenza a traz. per flessione caratt. = 0.70 \*  $f_{ctm}$  = 2.59 N/mm<sup>2</sup>

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e 0.40 $f_{cm}$  = 22000 \*  $(f_{cm}/10)^{0.3}$  = 33642 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_c$  = Resistenza a compressione (Comb. Rara) = 0.55 \*  $f_{ck}$  = 18.26 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_c$  = Resistenza a compressione (Comb. Quasi Permanente) = 0.40 \*  $f_{ck}$  = 13.28 N/mm<sup>2</sup>

## 4.2 Acciaio

### 4.3 Acciaio di armatura per c.a.

Tipo = B 450 C

$\gamma_a$  = peso specifico = 78.50 kN/m<sup>3</sup>

$f_{y\ nom}$  = tensione nominale di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{t\ nom}$  = tensione nominale di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk\ min}$  = minima tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk\ min}$  = minima tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$(f_t/f_y)_{k\ min}$  = minimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.15

$(f_t/f_y)_{k\ max}$  = massimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.35

$(f_y/f_{y\ nom})_k$  = massimo rapporto tra i valori nominali = 1.25

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	14 di 91

$(A_{gt})_k =$  allungamento caratteristico sotto carico massimo = 7.5 %

$\varphi_{min} =$  minimo diametro consentito delle barre = 6 mm

$\varphi_{max} =$  massimo diametro consentito delle barre = 40 mm

$E =$  modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_T =$  coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 °C<sup>-1</sup>

$\sigma_s =$  resistenza a trazione (Comb. Rara) = 0.75 \*  $f_{yk,min}$  = 337.5 N/mm<sup>2</sup>

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	15 di 91

## 5. CLASSE DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRO

Con riferimento alle specifiche di cui alla norma UNI 11104, si definiscono di seguito la classe di esposizione del calcestruzzo per le diverse parti della struttura oggetto dei dimensionamenti di cui al presente documento:

Elemento	Classe cls	Classe esposizione	Ambiente	Diametro massimo aggregati	Max a/c	Min cemento	Copriferro
				[mm]		[kg/mc]	[mm]
Pali	C25/30	XC2	Ordinario	25	0,60	300	60
Soletta fondazione	C32/40	XS1	Aggressivo	32	0,50	320	50
Setti e pilastri	C32/40	XS1	Aggressivo	32	0,50	320	50
Soletta copertura	C32/40	XS1	Aggressivo		0,50	320	50

Classe esposizione norma UNI 9958	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>						
1	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C 12/15	
<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b>						
Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriero o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.						
2 a	XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.	0,60	C 25/30	
2 a	XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	0,60	C 25/30	
5 a	XC3	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanza di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2.	0,50	C 32/40	
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>						
5 a	XD1	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XD2	Bagnato, raramente asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (Piscine).	0,50	C 32/40	
5 c	XD3	Ciclicamente bagnato e asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.	0,45	C 35/45	

Classe esposizione norma UNI 9958	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>						
4 a 5 b	XS1	Esposto alle saline marine ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.	0,50	C 32/40	
	XS2	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.	0,45	C 35/45	
	XS3	Zone esposte agli spruzzi o alle maree.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.	0,45	C 35/45	
<b>5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti *</b>						
2 b	XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.	0,50	C 32/40	
3	XF2	Moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente disgelante.	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.	0,50	C 25/30	3,0
2 b	XF3	Elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.	0,50	C 25/30	3,0
3	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.	0,45	C 28/35	3,0
<b>6 Attacco chimico**</b>						
5 a	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contentori di fanghi e vasche di decantazione. Contentori e vasche per acque reflue.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.	0,50	C 32/40	
5 c	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contentori di foraggi, mangimi e liquame provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi di gas di scarico industriali.	0,45	C 35/45	
*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: - moderato: occasionalmente gelato in condizione di saturazione; - elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.						
**) Da parte di acque del terreno e acque reflue.						

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

16 di 91

La scelta delle classi di resistenza dei conglomerati riportate in precedenza viene di seguito verificata impiegando il Prospetto 4 della UNI-EN 11104 il quale prescrive, in funzione delle Classi di Esposizione, la resistenza minima delle miscele da adottare:

prospetto 4 Valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti									
		XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	
Minima classe di resistenza <sup>1)</sup>	C12/15	C25/30	C28/35	C32/40	C32/40	C35/45	C28/35	C32/40	C35/45	32/40	25/30	28/35	28,35	32/40	35/45			
Minimo contenuto in cemento (kg/m <sup>3</sup> )	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360			
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 <sup>2)</sup>					
Altri requisiti													Aggregati conformi alla UNI EN 12620	È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>3)</sup>				

<sup>1)</sup> Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.  
<sup>2)</sup> Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.  
<sup>3)</sup> Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

## 6. CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni dell NTC18 e della Circolare n.617/09 calcolando le sollecitazioni interne dell'opera considerando sia gli effetti delle sollecitazioni statiche che sismiche:

Le azioni statiche considerate per le verifiche strutturali sono le seguenti:

- **Azioni permanenti strutturali (G1):** peso proprio degli elementi strutturali;
- **Azioni permanenti non strutturali (G2):** ricoprimento della soletta di copertura dovuto alla presenza di "ballast" ed azione dovuta al ritiro;
- **Azioni variabili (Q<sub>k</sub>):** carico variabile dovuto al passaggio di uno o più convogli ferroviari sulla soletta di copertura, azione della neve, azione del vento ed azione termiche.

Tali azioni sono state computate sulla struttura eseguendo un'analisi di tipo statico lineare.

L'azione sismica è stata conteggiata in termini di azioni statiche equivalenti secondo quanto prescritto al punto 7.3 delle NTC18.

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dalle NTC18 sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite di esercizio (combinazione

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	17 di 91

quasi permanente, frequente e rara) ed ultimi in condizioni statiche e di salvaguardia della vita in condizioni sismiche precisati in un paragrafo seguente.

## **7. MODELLO DI CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI**

### **7.1 Descrizione del modello di calcolo**

L'analisi strutturale dell'opera viene effettuata mediante la modellazione agli elementi finiti utilizzando il software commerciale Midas Civil (2022 v1.2). La definizione delle proprietà dei materiali avviene mediante apposite finestre (contenente database in base alla normativa italiana) come riportato nella figure sottostanti. Tutti gli elementi strutturali sono modellati utilizzando modelli definiti Thickness che simulano i classici modelli "shell" agli elementi finiti. Viene assegnato lo spessore sia nel piano che nel fuori piano in quanto l'elemento simula entrambi i comportamenti. Per simulare l'effetto di scarico dei binari e per caricare il modello mediante i carichi variabili è stato inoltre definito un materiale particolare definito "dummy" senza peso proprio e con sezione modificato mediante la funzione Section Stiffness Scale Factor in modo da annullare la propria rigidezza per evitare assorbimenti di sollecitazione. Per quanto riguarda le condizioni di vincolo, si è utilizzata una modellazione con suolo alla Winkler ignorando, in questa fase progettuale almeno, l'interazione della struttura con il terreno laterale che circonda la struttura. Il modulo di sottofondo è stato posto pari a 1000 kN/m<sup>3</sup> nelle direzioni orizzontali X e Y mentre 10 volte maggiore per la direzione verticale. Il software calcola automaticamente la rigidezza da assegnare alle singole molle utilizzando la funzione Surface Spring in base all'area d'influenza del nodo. Naturalmente gli elementi bidimensionali sono stati opportunamente scomposti ("meshati") con dimensioni tali da essere un buon compromesso con esigenze di calcolo e onere computazionale. Si riportano alcune figure dei punti chiavi della modellazione geometrica, delle proprietà dei materiali e delle condizioni al contorno.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

18 di 91

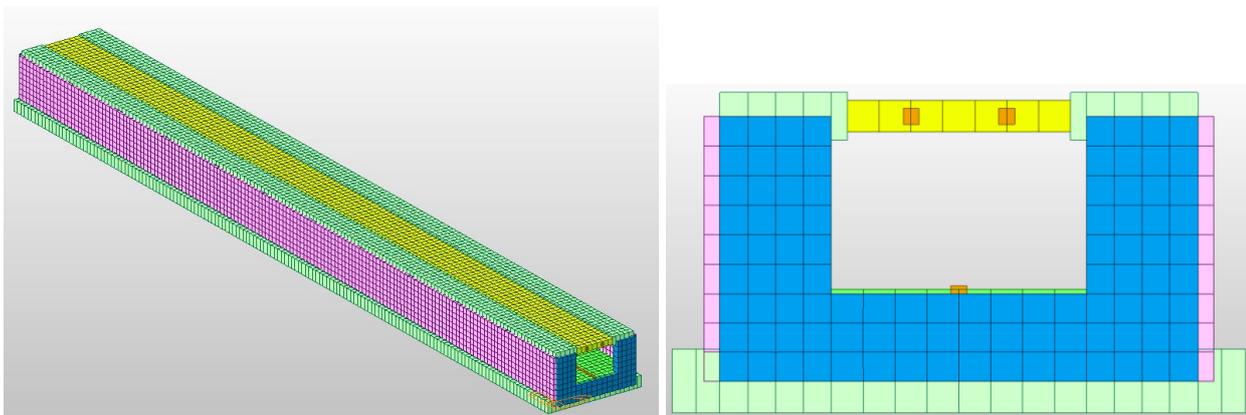


Figura 7.1 Viste 3D e frontale del modello FEM

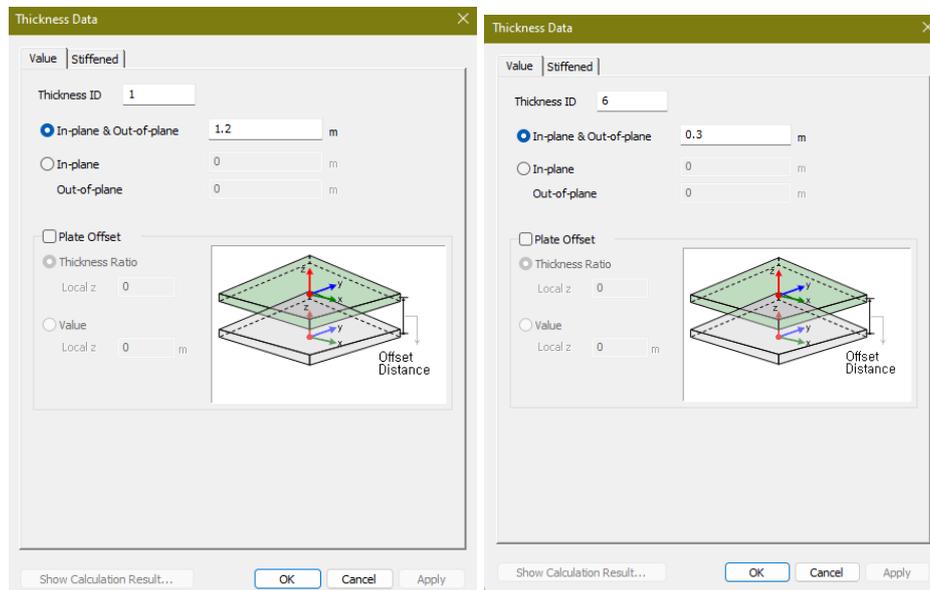


Figura 7.2 Elementi bidimensionali

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	19 di 91

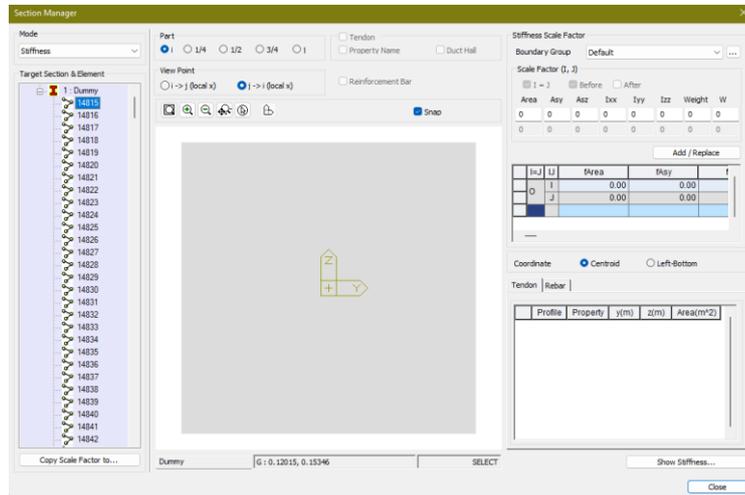
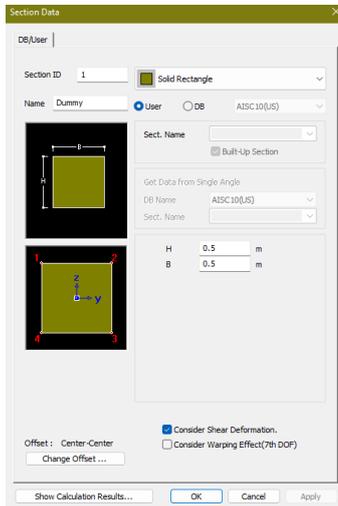


Figura 7.3 Definizione delle sezioni e annullamento della rigidezza della sezione dummy

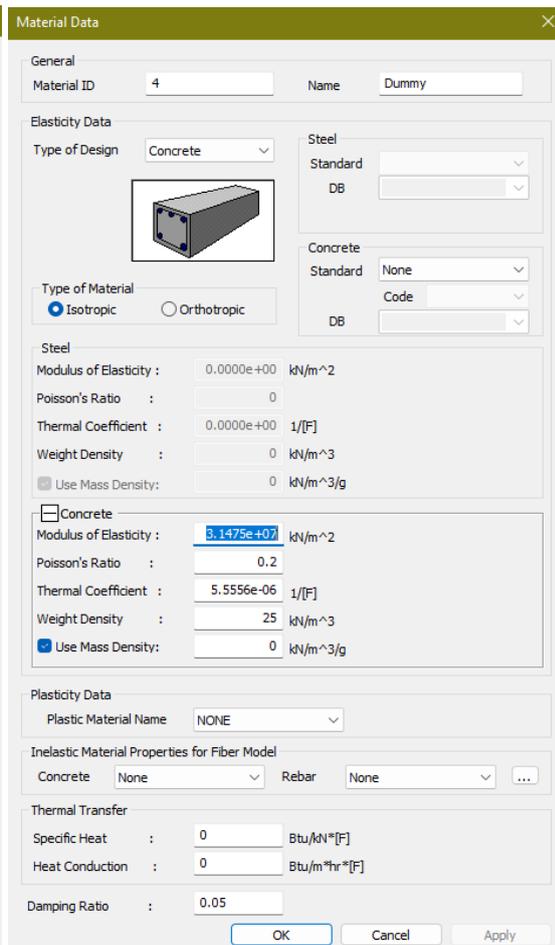
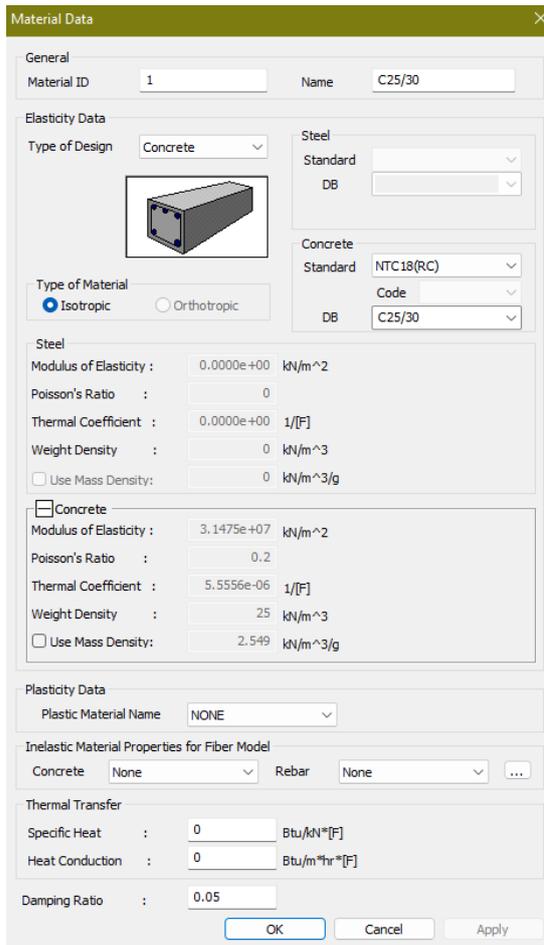
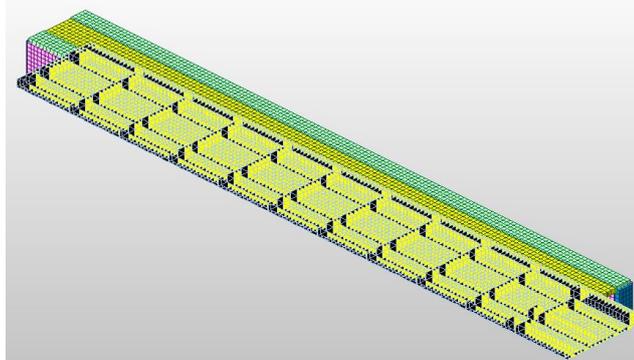


Figura 7.4 Proprietà dei materiali

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	20 di 91



Node	Type	Fixed	SDx (kNm)	SDy (kNm)	SDz (kNm)	SRx (kN·m/rad)	SRy (kN·m/rad)	SRz (kN·m/rad)
4291	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4292	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4293	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4294	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4295	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4296	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4297	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4298	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4299	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4300	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4301	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4302	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4303	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4304	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4305	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4306	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4307	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4308	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4309	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4310	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4311	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4312	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4313	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4314	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4315	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4316	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00
4317	Linear	000000	822.5000	822.5000	8225.0000	0.00	0.00	0.00

Figura 7.5 Condizioni di vincolo e valori di rigidezza

## 8. ANALISI DEI CARICHI

Le azioni considerate per la verifica degli elementi strutturali della nuova stazione sono di seguito riassunti:

- Carichi permanenti strutturali (G1): peso proprio degli elementi strutturali;
- Carichi permanenti porati (G2): riempimento "ballast" gravante sulla soletta di copertura ed azione dovuta al ritiro;
- Carichi variabili (Qk): carico variabile dovuto al passaggio di uno o più convogli ferroviari sulla soletta di copertura, azione della neve, azione del vento ed azione termiche;
- Azioni sismiche (E): Accelerazione orizzontale dovuta al sisma.

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dalle NTC18, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite di esercizio (SLE quasi permanente, frequente e rara), stati limite ultimi in condizioni statiche (SLU) e stato limite di salvaguardia della vita in condizioni sismiche (SLV).

### 8.1 G1: peso proprio della struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

21 di 91

I pesi propri degli elementi strutturali sono valutati tenendo conto del peso proprio del calcestruzzo pari a 25 kN/m<sup>3</sup>. Per gli elementi strutturali portanti il calcolo viene effettuato al metro quadro come di seguito riportato (si moltiplica per lo spessore).

Peso della zattera di fondazione = 25 kN/m<sup>3</sup> · 2 m = 50 kN/m<sup>2</sup>

Peso dei piedritti = 25 kN/m<sup>3</sup> · 1.2 m = 30 kN/m<sup>2</sup>

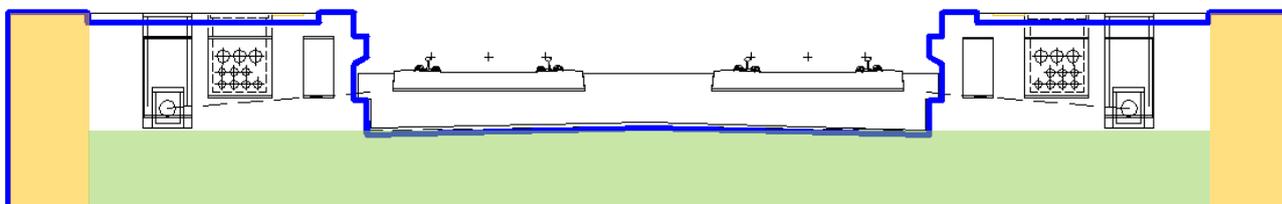


Figura 8.1 Calcolo G1 della soletta superiore

Peso dei muri laterali = 25 kN/m<sup>3</sup> · 1.0 m = 25 kN/m<sup>2</sup>

Peso della soletta intermedia = 25 kN/m<sup>3</sup> · 0.3 m = 7.5 kN/m<sup>2</sup>

Peso del marciapiede strutturale = 25 kN/m<sup>3</sup> · 1.5 m = 37.5 kN/m<sup>2</sup>

Peso della soletta armamento = 25 kN/m<sup>3</sup> · 1.0 m = 25 kN/m<sup>2</sup>

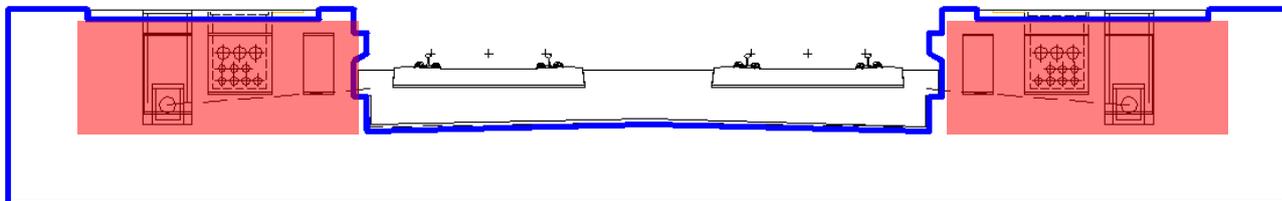


Figura 8.2 Sezione non resistente della soletta superiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	22 di 91

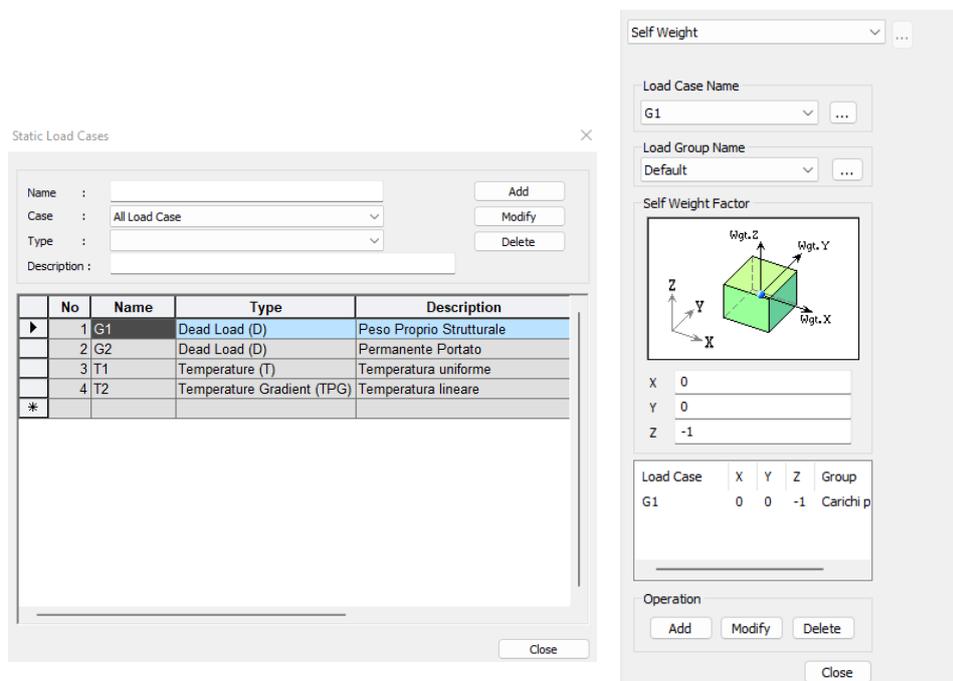


Figura 8.3: Applicazione del peso proprio

## 8.2 G2: permanenti portati

Per il calcolo del permanente portato agenti sulla soletta superiore (soletta armamento e marciapiede) si fa riferimento al paragrafo 2.5.1.3 del Manuale di progettazione delle opere civili Parte II – Sezione 2 Ponti E Strutture (RFI). In particolare per il marciapiede è stato indicato un valore di 2.5 kN/m<sup>2</sup> e per l'armamento 14.4 kN/m<sup>2</sup>.

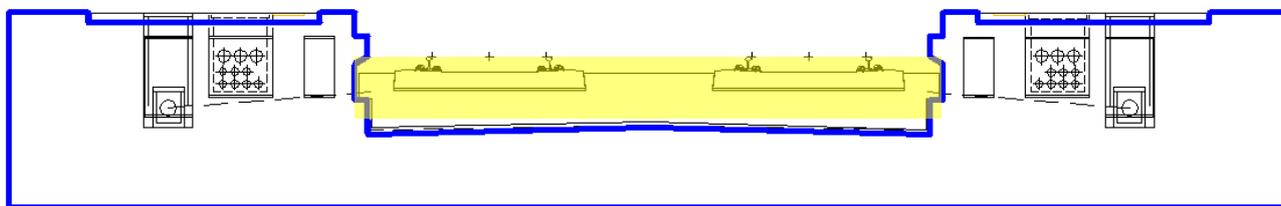


Figura 8.4: Sezione relativa al ricoprimento ballast

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	23 di 91

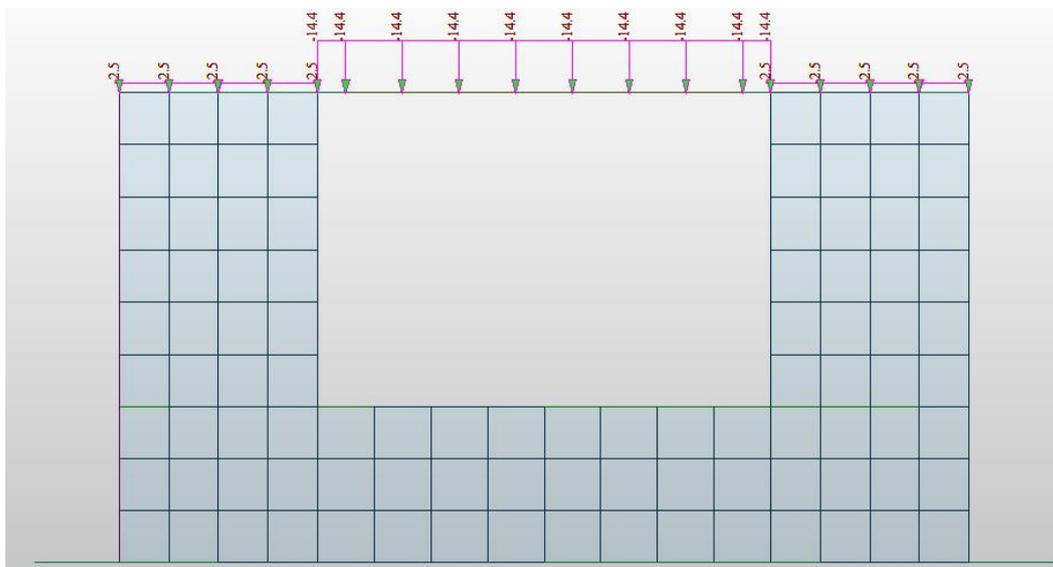


Figura 8.5: Applicazione del peso permanente portato relativo al ballast.

### 8.3 Ritiro

Le deformazioni da ritiro sono state calcolate in accordo con le normative vigenti (EN1992-1-1) e ricondotte ad un'azione termica uniforme equivalente.

Gli effetti indotti dal ritiro sono stati considerati applicando un carico termico equivalente ai nodi del modello FEM della soletta di copertura ( $\Delta T_{eq} = - 11.33^{\circ}\text{C}$ ) calcolato per entrambe le direzioni (trasversale e longitudinale) su una sezione di un metro di larghezza e considerando come perimetri a contatto con l'atmosfera l'intradosso e l'estradosso della soletta.

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	24 di 91

**CONCRETE**

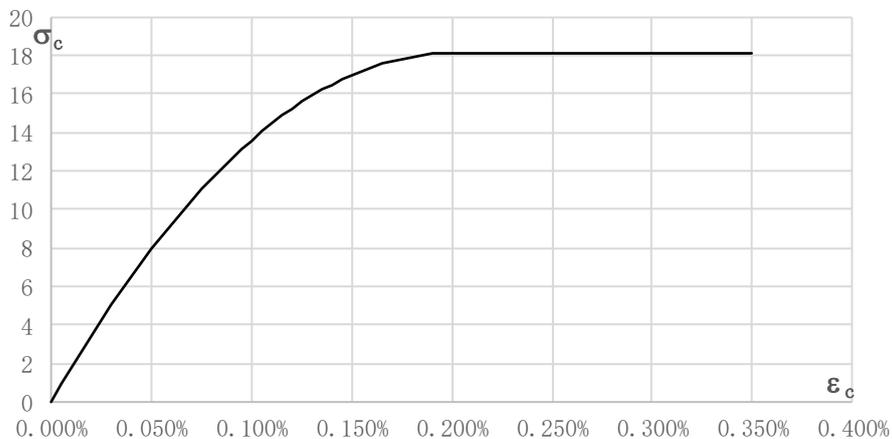
Type		C32/40
$f_{ck}$	Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	32.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$	Mean value of axial tensile strength of concrete	3.02 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctk, 5\%}$	Characteristic 5% value of axial tensile strength of concrete	2.12 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctk, 95\%}$	Characteristic 95% value of axial tensile strength of concrete	3.93 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cfm}$	Mean value of flexural tensile strength of concrete	3.63 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$	Secant modulus of elasticity of concrete	33642 N/mm <sup>2</sup>

**Material properties [EN1992-1-1]**

Concrete

$f_{ck}$	Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	32.00 N/mm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc}$	Coefficient taking into account long term effect on compression $f_{cd}$	0.85
$\alpha_{ct}$	Coefficient taking into account long term effect on tensile $f_{ctd}$	0.85
$\gamma_{c, ULS}$	Partial safety factor for concrete for ultimate design	1.50
$f_{cd}$	Value of design compressive strength	18.13 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$	Secant modulus of elasticity of concrete	33642 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$	Mean value of axial tensile strength of concrete	3.02 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctk, 5\%}$	Characteristic 5% value of axial tensile strength of concrete	2.12 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctk, 95\%}$	Characteristic 95% value of axial tensile strength of concrete	3.93 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cfm}$	Mean value of flexural tensile strength of concrete	3.63 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd}$	Value of design tensile strength	1.20 N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_{c2}$	Strain at reaching the maximum strength	0.20%
$\epsilon_{cu2}$	Ultimate strength	0.35%
n	Exponent according to table 3.1 EN 1992-1-1	2.0

**Parabola-rectangle diagram for concrete under compression  
( § 3.1.7 EN 1992-1-1)**



**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	25 di 91

**Creep & Shrinkage calculation [EN1992-1-1 § 3.1.4]**

RH	Relative humidity	75 %
$A_c$	Cross-sectional area	1000000 mm <sup>2</sup>
u	Perimeter of member in contact with the atmosphere	2000 mm
$h_0$	Notional size of the member	1000 mm
t	Age of concrete in days at the moment considered	27375
$t_0$	Age of concrete at loadings in days	28

**Evaluation of creep coefficient [Appendix B EN 1992-1-1:2004]**

$\alpha_1$	Coefficients to consider the influence of concrete strength	0.911
$\alpha_2$	Coefficients to consider the influence of concrete strength	0.974
$\alpha_3$	Coefficients to consider the influence of concrete strength	0.935
$\varphi_{RH}$	Factor to allow for the effect of RH on notional creep coefficient	1.195
$\beta(f_{cm})$	Factor to allow for the effect of $f_{ck}$ on notional creep coefficient	2.656
$\beta(t_0)$	Factor to allow for the effect of $t_0$ on notional creep coefficient	0.488
$\beta_H$	Coefficient depending on the RH and $h_0$	1403.122
$\beta_c(t, t_0)$	Coefficient to describe the development of creep with time	0.985
$\varphi_0$	Notional creep coefficient	1.551
$\varphi(t, t_0)$	Creep coefficient	1.528

**Evaluation of shrinkage strain [Paragraph 3.1.4. EN 1992-1-1:2004]**

$f_{ck}$	Characteristic compressive strength at 28 days	32.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm}$	Mean compressive strength	40.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm0}$	Reference concrete strength	10.00 N/mm <sup>2</sup>
	Type of cement	CEM 52.5 R Class R
$\alpha_{ds1}$	Coefficient depending to the type of cement	6.000
$\alpha_{ds2}$	Coefficient depending to the type of cement	0.110
$\beta_{RH}$	Coefficient for RH	0.896
$\varepsilon_{cd,0}$	Basic drying shrinkage strain	0.04317%
$\beta_{ds}(t, t_s)$	Drying shrinkage strain - time effect	0.956
$k_h$	Coefficient depending on notional size	0.700
$\varepsilon_{cd}$	Drying shrinkage strain	0.02888%
$\varepsilon_{ca}(\infty)$	Autogenous shrinkage strain at infinity	0.00550%
$\beta_{as}(t)$	Autogenous shrinkage strain - time effect	1.000
$\varepsilon_{ca}(t)$	Autogenous shrinkage strain	0.00550%
$\varepsilon_{cs}$	Total shrinkage strain	0.03438%

**Calculation of equivalent temperature  $\Delta t_{eq,\infty}$**

$\alpha_t$	Linear coefficient of concrete's thermal expansion	1.20E-05 1/° C
$\Delta t_{eq,\infty}$	Equivalent temperature variation $\Delta t_{eq,\infty} = \varepsilon_{cs}/[\alpha_t(1+\varphi)]$	11.33 ° C

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

26 di 91

#### 8.4 Q1: Sovraccarico sulla soletta nuova stazione

Considerata la destinazione d'uso della struttura, tra i carichi variabili vengono considerati i carichi ferroviari in corrispondenza dei binari (treno LM71) e i carichi da folla sulla zone ad essi adiacenti assunti come rientranti in categoria d'uso della costruzione Cat. C3 (Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad altri di stazioni ferroviarie).

Per il carico ferroviario si considera il modello di carico LM71

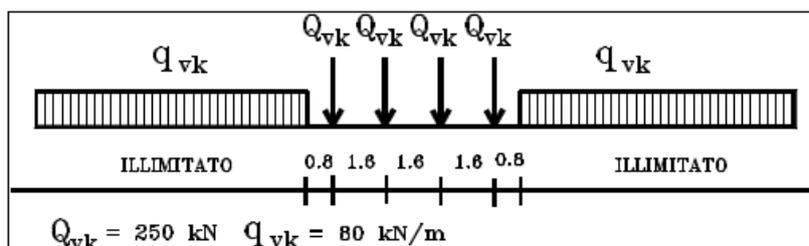


Figura 8.6: Modello di carico LM71 (Load model 71 al punto 6.2.3 della norma EN 1991-2:2003).

$\alpha$  = coefficiente di adattamento = 1.10

Per il calcolo del coefficiente dinamico si fa riferimento al par. 2.5.1.4.2.5.2 del "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" considerando un normale standard manutentivo:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi}} + 0,73$$

Dove  $L_\phi$  è la lunghezza "caratteristica" in metri, così come definita in Tab. 2.5.1.4.2.5.3-1. In particolare si considera il caso 5.3 : "Portali a luci multiple":

$$L_\phi = k L_m = 1.4 * 12.18 = 17.05 \text{ m}$$

Dove:

- $L_m = 1/n (L_1 + L_2 + \dots + L_n) = 12.18 \text{ m}$  con  $n = 4$
- $K = 1.4$  (caso  $n = 4$ )

Pertanto:  $\Phi_3 = 1.28$

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	27 di 91

Il sovraccarico ferroviario si distribuisce attraverso il ballast con pendenza 1/4, (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse del binario risulta pari a :  $L_{trasv} = 3.8$  m.

Diffusione Trasv		
L traversa	2.40	m
Hballast	0.80	m
Ldiff,ballast	2.8	m
Hsoletta	0.50	m
$L_{trasv}$	3.80	m

In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce sull'interno ingombro dei suoi assi, attraverso il ballast con pendenza 1/4, (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse del binario risulta pari a :  $L_{long} = 7.8$  m.

Diffusione Long		
L LM71	6.40	m
Hballast	0.80	m
Ldiff,ballast	6.8	m
Hsoletta/2	0.50	m
Ldiff,soletta	7.80	m

Pertanto il carico ripartito dovuto al singolo treno LM71 risulta:

$$Q_k = 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{trasv} \cdot L_{long}) = 47.5 \text{ kPa}$$

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	28 di 91

Il modello di carico SW è illustrato in figura; per tale modello di carico, sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 e SW/2.

Il modello di carico SW/0 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale per travi continue (esso andrà utilizzato solo per le travi continue qualora più sfavorevole dell'LM71).

Il modello di carico SW/2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Le caratterizzazioni di entrambe queste configurazioni sono indicate in Tab. 5.2.I.

Il valore del coefficiente di adattamento “ $\alpha$ ” da adottarsi nella progettazione delle ferrovie ordinarie è pari, rispettivamente, a 1,1 per il modello di carico SW/0 ed a 1,0 per il modello di carico SW/2.”

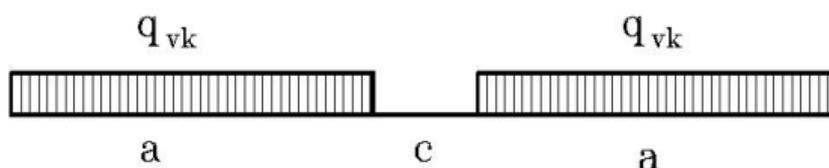


Figura 8.7: Modello di carico SW (punto 6.2.3 della norma EN 1991-2:2003).

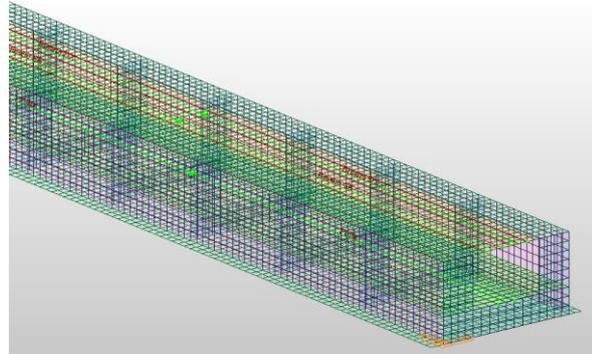
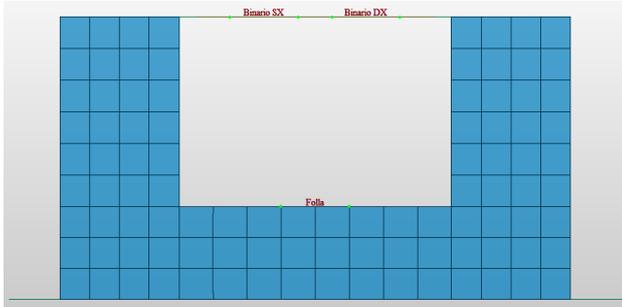
<b>Tipo di carico</b>	<b><math>q_{vk}</math> [kN/m]</b>	<b>a [m]</b>	<b>c [m]</b>
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

Per alcune particolari verifiche è previsto un ulteriore particolare modello di carico denominato “Treno scarico” rappresentato da un carico uniformemente distribuito pari a 10,0 kN/m.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	29 di 91



Define Moving Load Case

Load Case Name : LM71-SLU

Description :

Moving Load Optimization

Select Load Model

LM 1, FLM 1/ Footbridge

LM 2,3,4 / FLM 2,3,4 / Footbridge / Permit Truck

LM 1 & 3 Multi

LM 1 & 3 Multi (Straddling)

Railway Bridge

Railway Bridge Data ...

Sub-Load Cases

Loading Effect

Combined  Independent

Vehicle	Scale	Lane1	Lane2
VL:Load Model 71	1.45	Binario DX	Binario SX

Add Modify Delete

OK Cancel Apply

Define Moving Load Case

Load Case Name : LM71+SW0-SLU

Description :

Moving Load Optimization

Select Load Model

LM 1, FLM 1/ Footbridge

LM 2,3,4 / FLM 2,3,4 / Footbridge / Permit Truck

LM 1 & 3 Multi

LM 1 & 3 Multi (Straddling)

Railway Bridge

Railway Bridge Data ...

Sub-Load Cases

Loading Effect

Combined  Independent

Vehicle	Scale	Lane1	Lane2
VL:Load Model 71	1.45	Binario DX	Binario SX

Add Modify Delete

OK Cancel Apply

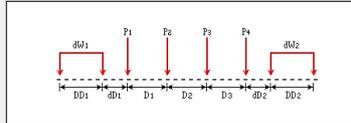
Define Standard Vehicular Load

Standard Name: EN 1991-2:2003 - Rail Traffic Load

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name: Load Model 71

Vehicular Load Type: Load Model 71



No	Load(kN)	Spacing(m)	dW1	DD1	dB1	dW2	DD2	dB2
1	250	1.6	80	Infinity	0.8	80	Infinity	0.8
2	250	1.6						
3	250	1.6						
4	250	end						

Adjustment factor (Alpha): 1

Consider Longitudinal Distribution of Point Loads

Distance Between Rail Support Points: 0.75 m

Eccentricity of Lateral Displacement of Vertical Loads: 0 m

OK Cancel Apply

Railway Dynamic Factor

Auto Input

Determinant Length (LPh): 39.5 m

Quality of Track Maintenance

Carefully maintained

Standard maintenance

Consider Reduced Dynamic Effect

Height of Cover (h): 0 m

User Input

Dynamic Factor (Phi): 1.0849769259

\* Dynamic factor enhances the static load effects under Load Model 71, SW/0, and SW/2.

Remove Railway Dynamic Factor Data

OK Cancel

Figura 2.8: Applicazione del carico ferroviario sulla soletta di copertura della nuova stazione.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	30 di 91

Nella figura sottostante si può vedere come il software imposta automaticamente la disposizione dei carichi mobili per massimizzare una particolare sollecitazione.

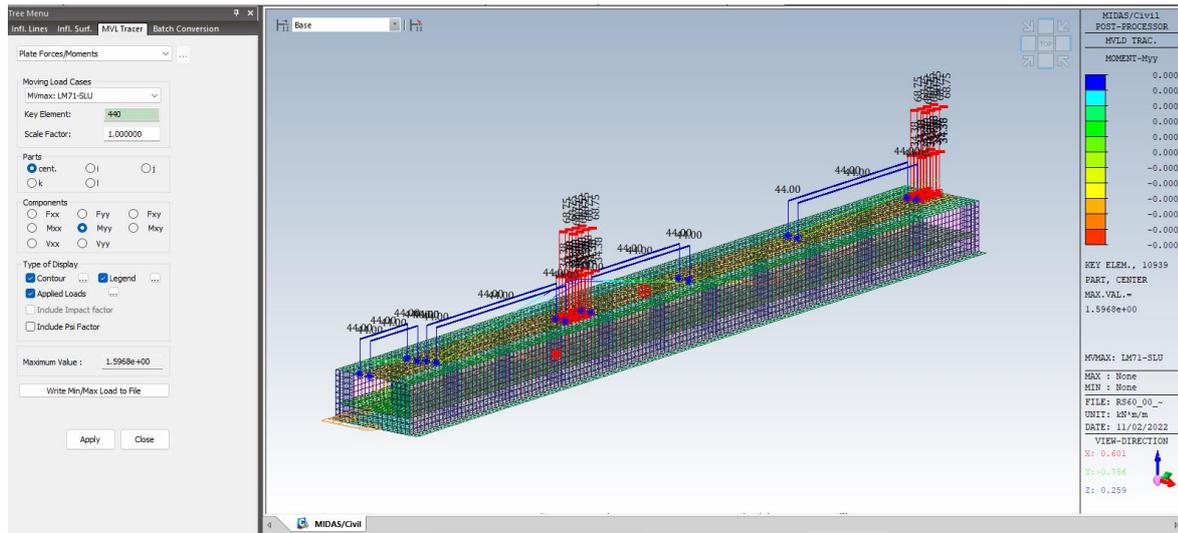


Figura 8.9: Disposizione dei carichi mobili per massimizzare la sollecitazione

## 8.5 Q2: Carico da neve

L'azione dovuta alla neve può ritenersi trascurabile e comunque non contemporanea ai carichi variabili ferroviari.

## 8.6 Q3: Azione del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio esercitando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti, costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono le costruzioni stesse.

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove:

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	31 di 91

- $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione;
- $c_p$  è il coefficiente di pressione;
- $c_d$  è il coefficiente dinamico ( $c_d=1$ )

**Pressione cinetica di riferimento**

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2$$

dove:

- $\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a  $1.25 \text{ kg/m}^3$ ;
- $v_r$  è la velocità di riferimento del vento  $v_r = v_b \cdot c_r$ ;

con:

- $v_b$  = la velocità di base di riferimento (valore medio della velocità del vento su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II, riferito a un periodo di ritorno di  $TR = 50$  anni);
- $c_r$  = coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno  $TR$  ( $TR = 50$  anni,  $c_r = 1$ ,  $v_r = v_b$ )

**Velocità base di riferimento**

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

dove:

- $v_{b,0}$  è la velocità di riferimento al livello del mare;
- $c_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \cdot (a_s / a_0) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500 \text{ m}$$

ed essendo il comune di Augusta ad una quota  $a_s \approx 320 \text{ m s.l.m.} \rightarrow c_a = 1$ .

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	32 di 91

**Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$**

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Ne consegue che i valori di velocità di base di riferimento e pressione cinetica di riferimento sono pari a:

$$v_b = v_{b,0} \cdot C_a = 27 \cdot 1 = 27 \text{ m/s} \rightarrow q_r = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 27^2 = 456 \text{ N/m}^2$$

Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Dove:

- $k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	33 di 91

-  $c_t$  è il coefficiente di topografia = 1



**AUGUSTA**

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

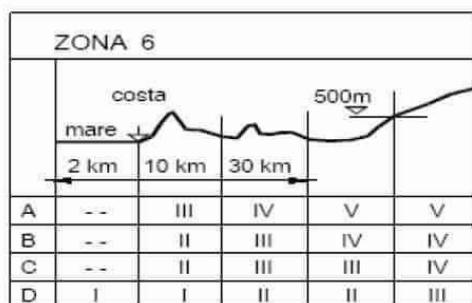
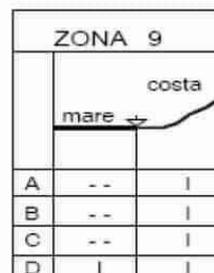
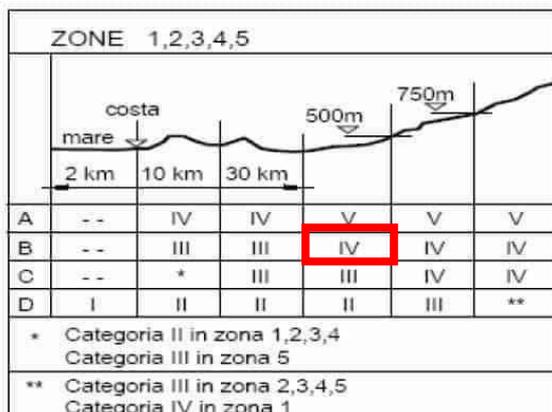
Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	34 di 91



**Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione**

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

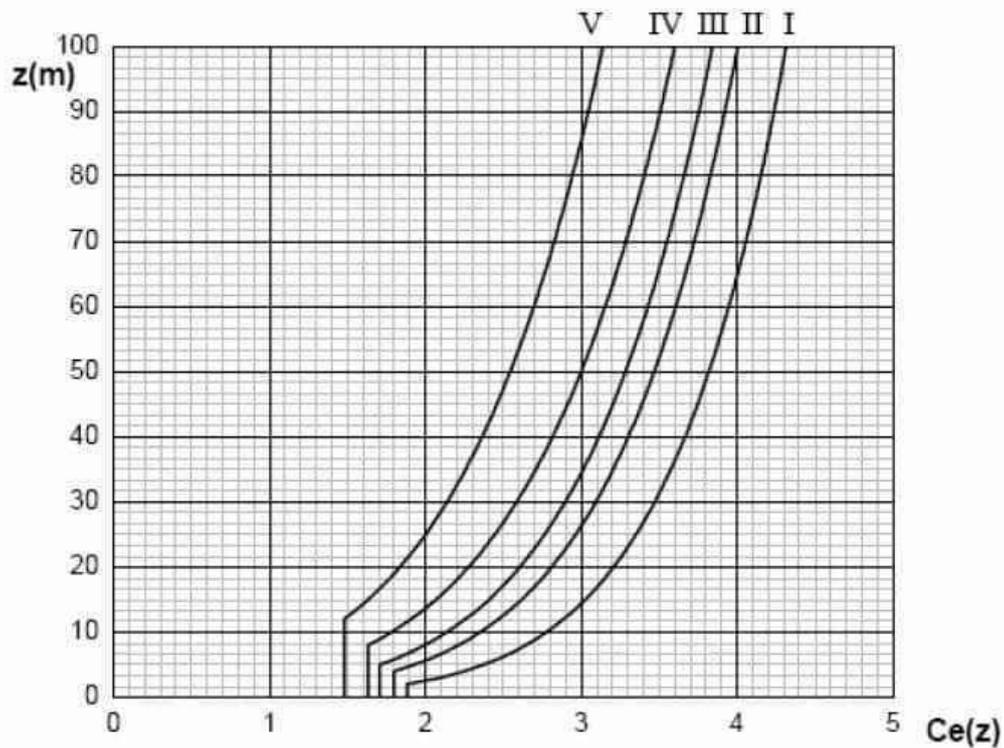
Ne consegue che, avendo la struttura un'altezza superiore a  $z_{min}$ , il coefficiente di esposizione sarà:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] = 0.22^2 \cdot 1 \cdot \ln(10/0.3) \cdot [7 + 1 \cdot \ln(10/0.3)] = 1.78$$

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	35 di 91



Coefficiente di pressione (o aerodinamico)

Il coefficiente di pressione dipende dalla tipologia della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Si assume la struttura stagna e quindi i coefficienti di pressione saranno pari a 0.80 per le pareti sopravvento e 0.40 per quelle sottovento.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

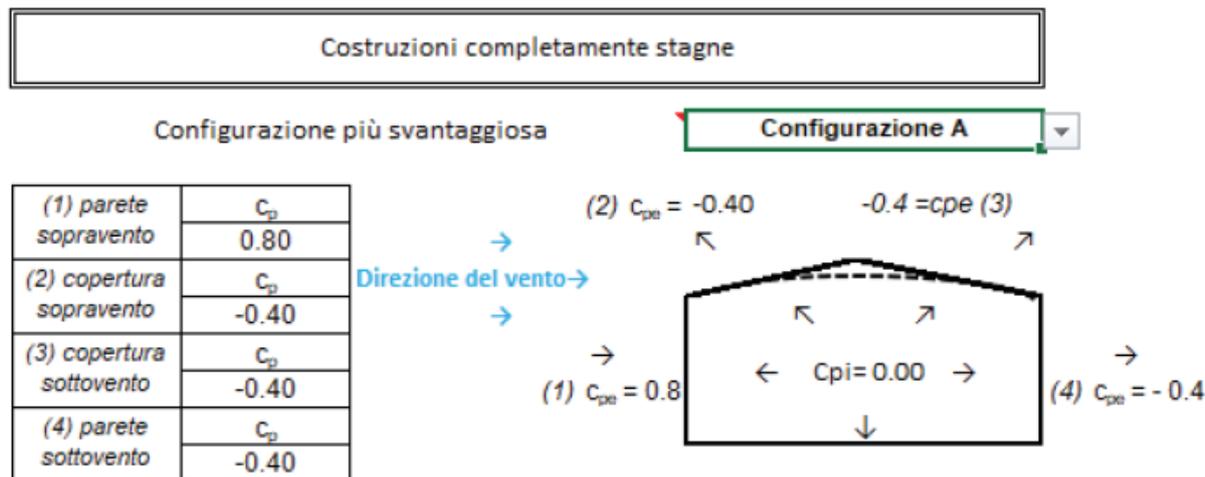
FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

36 di 91



Le pressioni indotte dal vento saranno quindi calcolate come segue:

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_r \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$$

In considerazione di coefficienti calcolati precedentemente risulta che il vento non sia dimensionante perciò si ignora nei calcoli.

### 8.7 Q4: Azioni termiche

In accordo con il paragrafo 2.5.1.6 del Manuale di progettazione delle opere civili Parte II – Sezione 2 Ponti E Strutture (RFI) si definiscono due tipologie di azioni termiche: uniforme pari a 15°C; variabile linearmente con gradiente pari a 5° C. Entrambi vengono applicate agli elementi effettivamente esposti all'ambiente esterno quali soletta superiore e piedritti.

### 8.8 E: Azioni sismiche

L'accelerazione massima di progetto è stata calcolata in conformità alla normativa vigente NTC18.

L'accelerazione di progetto allo SLV è stata calcolata utilizzando i seguenti parametri:

- Vita nominale  $V_N$ : 75 anni
- Classe d'uso: IV
- Coefficiente d'uso: 2.0
- Periodo di riferimento  $V_R$ : 150 anni

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	37 di 91

- Fattore di struttura:
  - $q = 1.00$  per il dimensionamento delle strutture
  - $q = 1.00$  per il calcolo degli scarichi in fondazione

Il comune cui fare riferimento per il calcolo dell'azione sismica è quello di Augusta (AN):

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate      LONGITUDINE: 15.2205      LATTITUDINE: 37.2376

Ricerca per comune      REGIONE: Sicilia      PROVINCIA: Siracusa      COMUNE: Augusta

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate (STAT) del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO      **FASE 1**      FASE 2      FASE 3

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$       75      info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$       2      info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$       150      info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$       info

Stati limite di esercizio - SLE

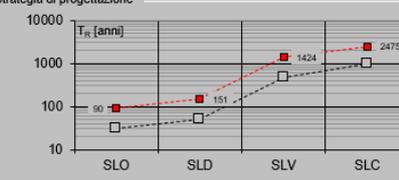
SLO - $P_{VR} = 81\%$	90
SLD - $P_{VR} = 63\%$	151

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	1424
SLC - $P_{VR} = 5\%$	2475

Elaborazioni:  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



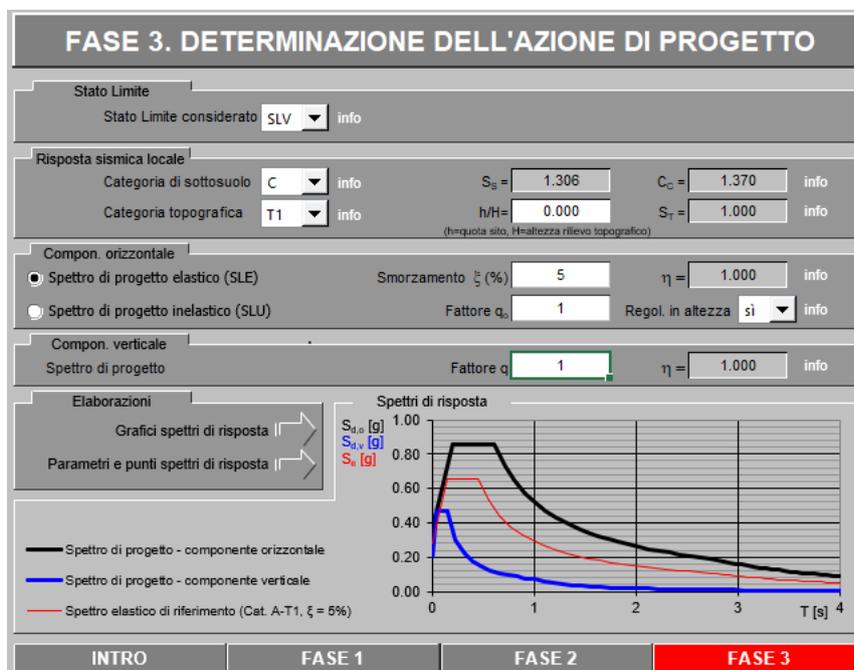
LEGENDA GRAFICO  
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie  
 - - - - - Strategia scelta

Mentre i parametri per lo spettro elastico di risposta sono i seguenti:

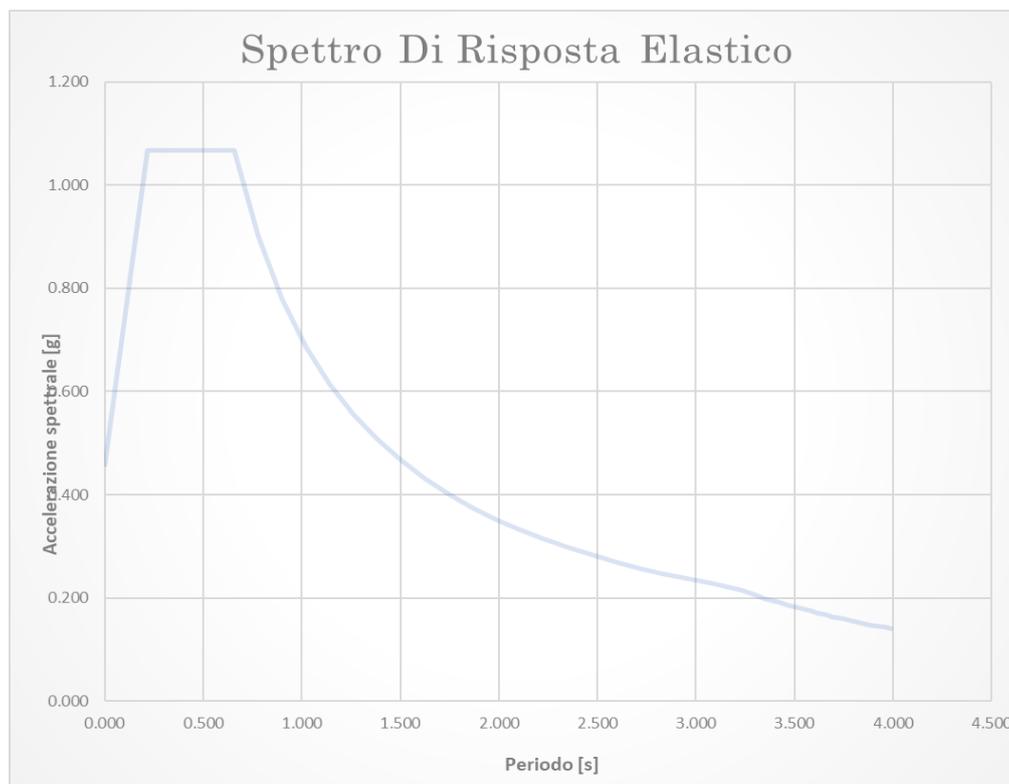
STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	38 di 91



Lo spettro di risposta elastico per la struttura in esame risulta quindi essere:



STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	39 di 91

Figura 8.10: Spettro di risposta elastico

Poichè per l'analisi delle sollecitazioni interne indotte dal sisma si è deciso di attuare un'analisi dinamica modale con spettro di risposta si utilizza la seguente combinazione di calcolo:

$$E = G_1 + G_2 + 0.2Q_2$$

## 9. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico utilizzate per le verifiche strutturali sono determinate dalla seguente espressione:

COMBINAZIONI STATICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO:

$$F_d = \gamma_{g1}G_1 + \gamma_{g2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi}\Psi_{0i}Q_{ik}$$

Dove:

- $\gamma_{g1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;
- $\gamma_{g2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili  $Q_i$ .

$Q_{1k}$  valore caratteristico del sovraccarico variabile di base;

$Q_{ik}$  valore caratteristico delle azioni variabili tra loro indipendenti;

$\Psi_{0i}$  coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo;

COMBINAZIONI SISMICHE:

$$F_d = E + G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i}Q_{ik}$$

$\Psi_{2i}$  coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo sismico dell'azione variabile;

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i}Q_{ik}$$

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	40 di 91

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

COMBINAZIONI RARE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO:

$$F_d = G_1 + G_2 + Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \Psi_{0i} Q_{ik}$$

COMBINAZIONI FREQUENTI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO:

$$F_d = G_1 + G_2 + \Psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \Psi_{2i} Q_{ik}$$

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO:

$$F_d = G_1 + G_2 + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i} Q_{ik}$$

Nelle NTC18 paragrafo 5.2.3.1 è specificato la necessità di considerare simultaneamente la presenza di 2 o più binari considerando sia il traffico normale che quello pesante al fine di simulare le condizioni più gravose per la struttura. In particolare a seconda del numero di binari la normativa definisce differenti casi da considerare come si può evincere dalla seguente tabella

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante <sup>(2)</sup>
		caso a <sup>(1)</sup>	caso b <sup>(1)</sup>	
1	Primo	1,0 (LM 71" + SW/0)	-	1,0 SW/2
2	Primo	1,0 (LM 71" + SW/0)	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71" + SW/0)	-	1,0 (LM 71" + SW/0)
≥3	Primo	1,0 (LM 71" + SW/0)	0,75 (LM 71" + SW/0)	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71" + SW/0)	0,75 (LM 71" + SW/0)	1,0 (LM 71" + SW/0)
	Altri	-	0,75 (LM 71" + SW/0)	-

<sup>(1)</sup> LM71 "+" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

<sup>(2)</sup> Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Infine sempre la normativa tecnica italiana (NTC18 paragrafo 5.2.3.1.3) obbliga l'utilizzo di gruppi di carico con valori caratteristici per poter combinare il carico verticale dei convogli e i loro effetti orizzontali secondo questa tabella

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	41 di 91

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

Le combinazioni implementate nel software sono:

## LIST OF LOAD COMBINATIONS

 =====  
 =====

NUM	NAME	ACTIVE	TYPE
			LOADCASE(FACTOR) +      LOADCASE(FACTOR) +      LOADCASE(FACTOR)

 =====  
 =====

1	SLU1	Active	Add
		G1( 1.350) +	G2( 1.350) +      LM71-SLU( 1.000)

2	SLU2	Active	Add
		G1( 1.350) +	G2( 1.350) +      SW0_SLU( 1.000)

3	SLU3	Active	Add
		G1( 1.350) +	G2( 1.350) +      TS_SLU( 1.000)

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	42 di 91

4 SLU4 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350)

-----

5 SLU5 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350) + LM71+SW0-SLU( 1.000)

-----

6 SLU6 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350) + T1( 0.900)

+ T2( 0.900) + LM71-SLU( 1.000)

-----

7 SLU7 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350) + T1( 0.900)

+ T2( 0.900) + SW0\_SLU( 1.000)

-----

8 SLU8 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350) + T1( 0.900)

+ T2( 0.900) + TS\_SLU( 1.000)

-----

9 SLU9 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350) + T1( 0.900)

+ T2( 0.900) + LM71+SW0-SLU( 1.000)

-----

10 SLU10 Active Add

G1( 1.350) + G2( 1.350) + T1( 0.900)

+ T2( 0.900) + Folla-SLU( 1.000) + LM71+SW0-SLU( 1.000)

-----

11 SLU11 Active Add

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	43 di 91

G1( 1.350) + G2( 1.350) + T1( 1.500)  
+ T2( 1.500) + LM71-SLU( 1.000) + Folla-SLU( 1.000)

-----  
12 SLE-R1 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + LM71-SLE-R( 1.000)  
+ T1( 0.500) + T2( 0.500)

-----  
13 SLE-R2 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + T1( 0.500)  
+ T2( 0.500) + SW0-SLE-R( 1.000)

-----  
14 SLE-R3 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + T1( 0.500)  
+ T2( 0.500) + TS-SLE-R( 1.000)

-----  
15 SLE-R4 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + T1( 0.500)  
+ T2( 0.500) + LM71+SW0-SLE-R( 1.000)

-----  
16 SLE-Q1 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + LW71-SLE-F( 0.800)  
+ T1( 0.600) + T2( 0.600)

-----  
17 SLE-Q2 Active Add  
G1( 1.000) + G2( 1.000) + SW0-SLE-F( 0.800)  
+ T1( 0.600) + T2( 0.600)

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	44 di 91

18 SLE-Q3 Active Add  
 G1( 1.000) + G2( 1.000) + TS-SLE-F( 0.800)  
 + T1( 0.600) + T2( 0.600)

---

19 SLE-Q4 Active Add  
 G1( 1.000) + G2( 1.000) + LM71+SW0-SLE-F( 0.800)  
 + T1( 0.600) + T2( 0.600)

---

20 RC\_INV\_SLE-R Active Envelope  
 SLE-R1( 1.000) + SLE-R2( 1.000) + SLE-R3( 1.000)  
 + SLE-R4( 1.000)

---

21 RC\_INV\_SLE-Q Active Envelope  
 SLE-Q1( 1.000) + SLE-Q2( 1.000) + SLE-Q3( 1.000)  
 + SLE-Q4( 1.000)

---

22 SLV1 Active Add  
 G1( 1.000) + G2( 1.000) + T1( 0.500)  
 + SLV\_X\_EL( 1.000) + SLV\_Y\_EL( 0.300)

---

23 SLV2 Active Add  
 G1( 1.000) + G2( 1.000) + T1( 0.500)  
 + SLV\_X\_EL( 1.000) + SLV\_Y\_EL(-0.300)

---

24 SLV3 Active Add  
 G1( 1.000) + G2( 1.000) + T1( 0.500)  
 + SLV\_X\_EL(-1.000) + SLV\_Y\_EL( 0.300)

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	45 di 91

-----

25 SLV4      Active      Add

                 G1( 1.000) +                    G2( 1.000) +                    T1( 0.500)

+                SLV\_X\_EL(-1.000) +                SLV\_Y\_EL(-0.300)

-----

26 SLV5      Active      Add

                 G1( 1.000) +                    G2( 1.000) +                    T1( 0.500)

+                SLV\_X\_EL( 0.300) +                SLV\_Y\_EL( 1.000)

-----

27 SLV6      Active      Add

                 G1( 1.000) +                    G2( 1.000) +                    T1( 0.500)

+                SLV\_X\_EL(-0.300) +                SLV\_Y\_EL( 1.000)

-----

28 SLV7      Active      Add

                 G1( 1.000) +                    G2( 1.000) +                    T1( 0.500)

+                SLV\_X\_EL( 0.300) +                SLV\_Y\_EL(-1.000)

-----

29 SLV8      Active      Add

                 G1( 1.000) +                    G2( 1.000) +                    T1( 0.500)

+                SLV\_X\_EL(-0.300) +                SLV\_Y\_EL(-1.000)

-----

30 INV - SLV    Active      Envelope

                 SLV1( 1.000) +                    SLV2( 1.000) +                    SLV3( 1.000)

+                SLV4( 1.000) +                    SLV5( 1.000) +                    SLV6( 1.000)

+                SLV7( 1.000) +                    SLV8( 1.000)

-----

31 INV - SLU    Active      Envelope

**STRUTTURE**

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	46 di 91

SLU1( 1.000) +

SLU2( 1.000) +

SLU3( 1.000)

+ SLU4( 1.000) +

SLU5( 1.000) +

SLU6( 1.000)

+ SLU7( 1.000) +

SLU8( 1.000) +

SLU9( 1.000)

+ SLU10( 1.000) +

SLU11( 1.000)

32 INV - Strength Active

Envelope

INV - SLV( 1.000) +

INV - SLU( 1.000)

## 10. **RISULTATI DELLE ANALISI**

Si riportano i risultati a valle delle analisi considerando l'involuppo delle combinazioni di carico. Per completezza si riporta un estratto dalla guida del software che aiuta a identificare il significato fisico delle quantità riportate.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

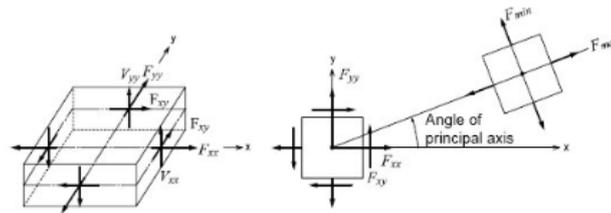
FV01 0001

REV.

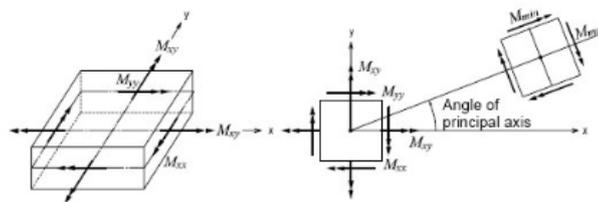
C

FOGLIO

47 di 91



(a) Force per unit length due to in-plane actions at the output locations



(b) Moments per unit length due to out-of-plane bending actions at the output locations

**Fxx:** Axial force per unit width in the element's local or UCS x-direction (Perpendicular to local y-z plane)

**Fyy:** Axial force per unit width in the element's local or UCS y-direction (Perpendicular to local x-z plane)

**Fxy:** Shear force per unit width in the element's local or UCS x-y direction (In-plane shear)

**Fmax:** Maximum Principal Axial Force per unit width

**Fmin:** Minimum Principal Axial Force per unit width

**FMax:** Maximum absolute Principal Axial Force per unit width

**Mxx:** Bending moment per unit width in the direction of the element's local or UCS x-axis (Out-of-plane moment about local y-axis)

**Myy:** Bending moment per unit width in the direction of the element's local or UCS y-axis (Out-of-plane moment about local x-axis)

**Mxy:** Torsional moment per unit width about the element's local or UCS x-y plane

**Mmax:** Maximum principal bending moment per unit width

**Mmin:** Minimum principal bending moment per unit width

**MMax:** Maximum absolute Principal Moment per unit width (Larger magnitude of Mmax and Mmin)

**Vxx:** Shear force per unit width in the thickness direction along the element's local or UCS y-z plane

**Vyy:** Shear force per unit width in the thickness direction along the element's local or UCS x-z plane

**VMax:** Maximum absolute shear force per unit width (Larger magnitude of Vxx and Vyy)

Figura 10.1: Simbologia utilizzata dal software di calcolo

## 10.1 Sollecitazioni Allo SLU

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	48 di 91

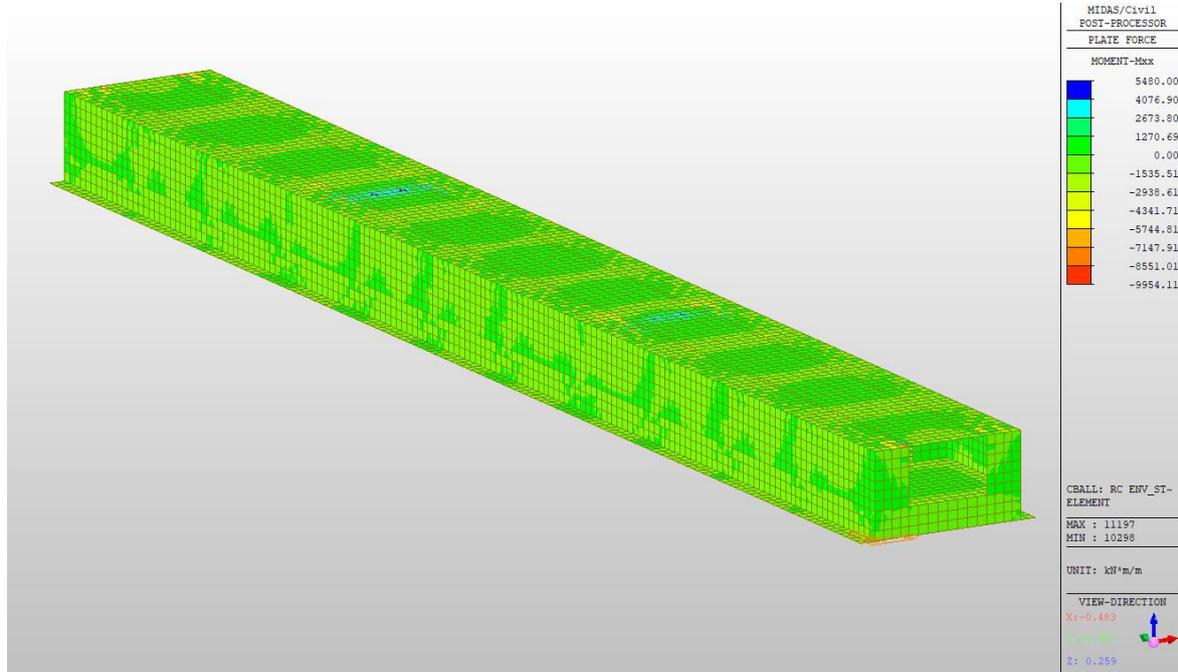


Figura 10.2: Involuppo SLU-SLV Mxx per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	49 di 91

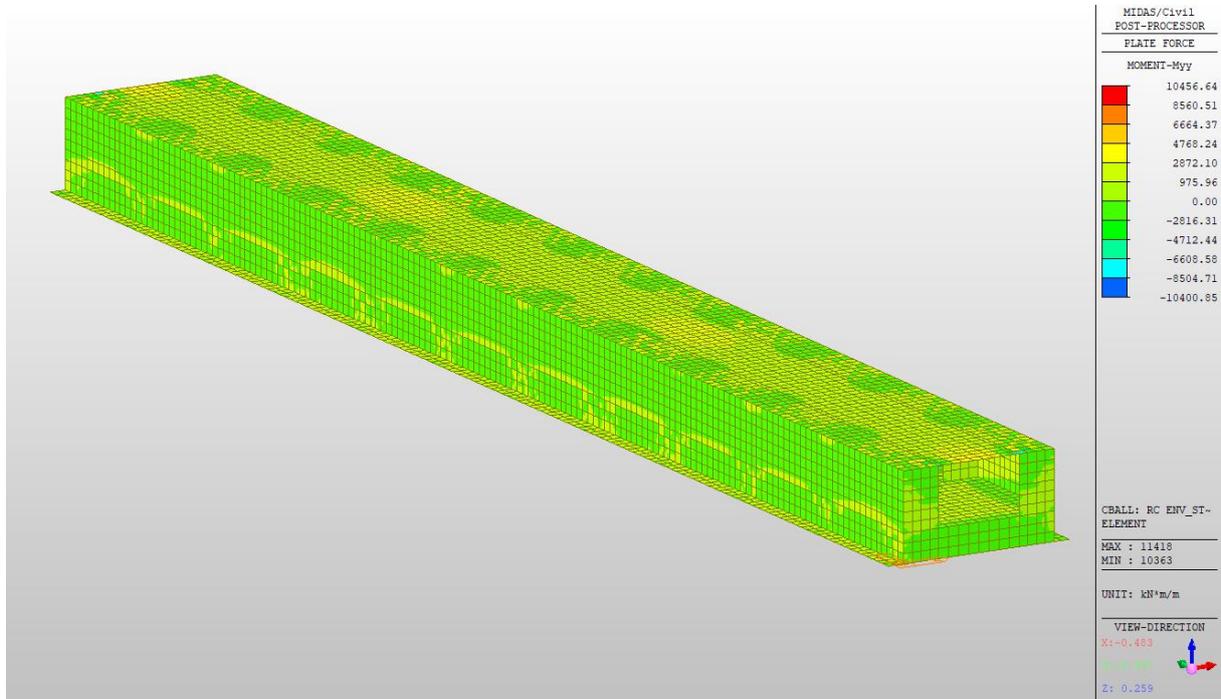


Figura 10.3: Involuppo SLU-SLV Myy per tutta la struttura

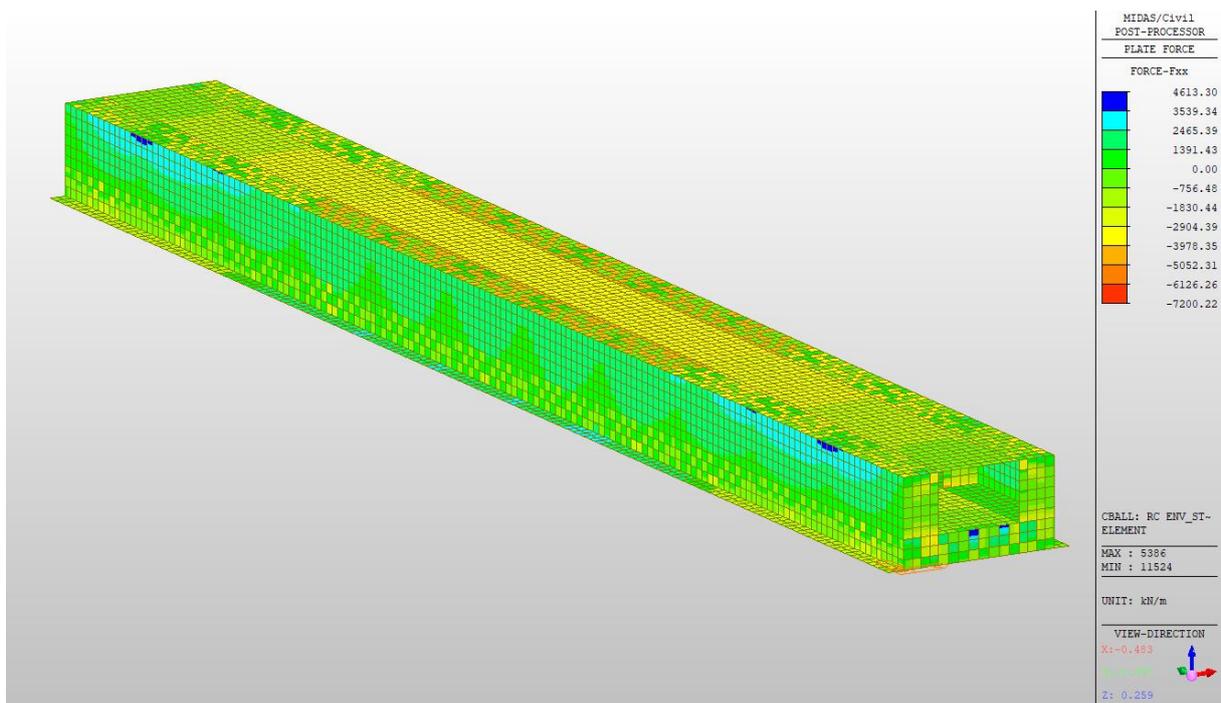


Figura 10.4: Involuppo SLU-SLV Fxx per tutta la struttura



**Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del nuovo  
Bypass Ferroviario di Augusta sulla tratta Catania - Siracusa**

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	50 di 91

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	51 di 91

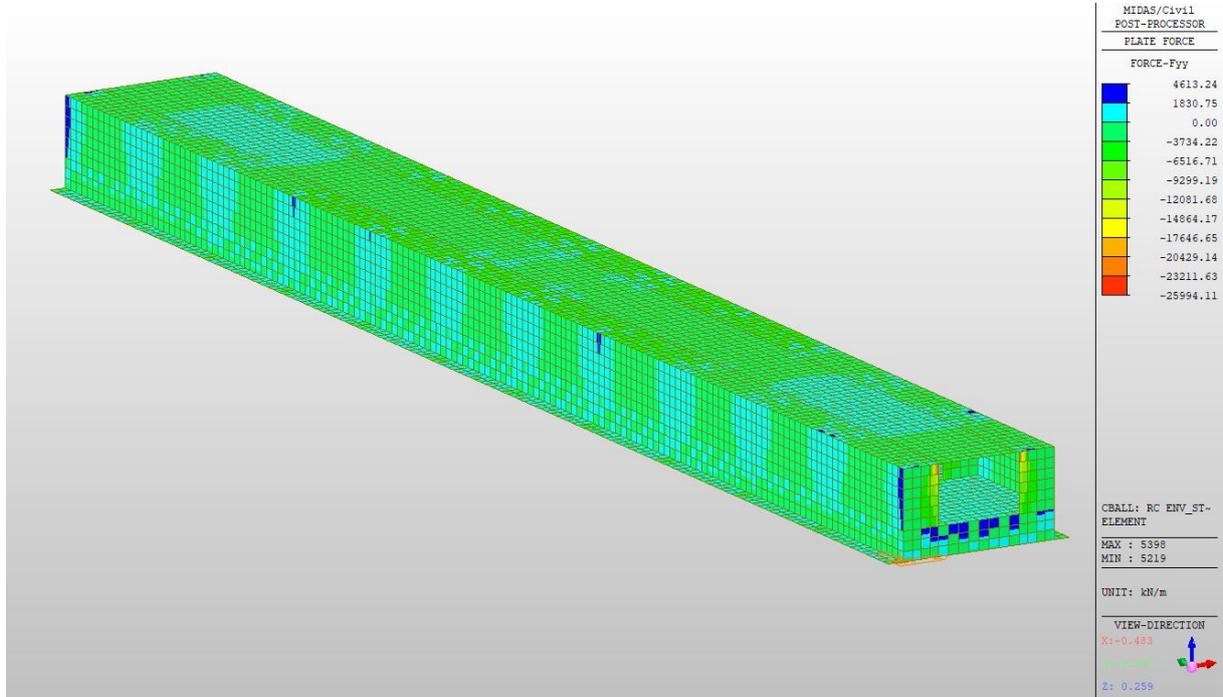


Figura 10.5: Involuppo SLU-SLV Fyy per tutta la struttura

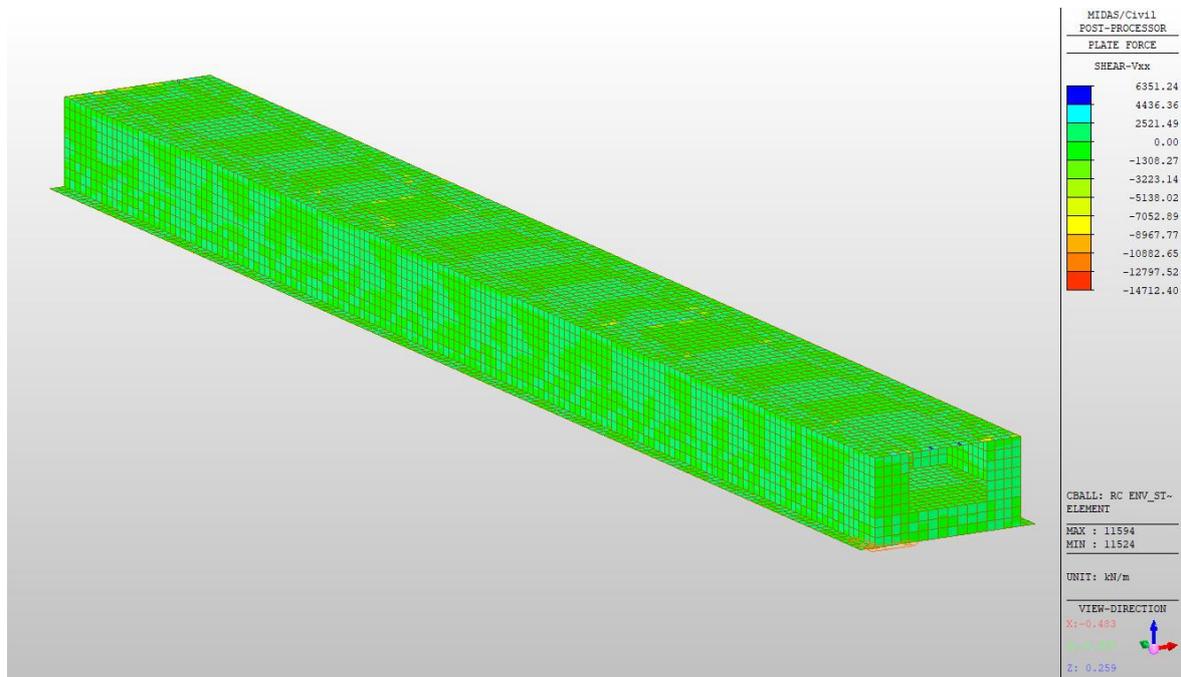


Figura 10.6: Involuppo SLU-SLV Vxx per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	52 di 91

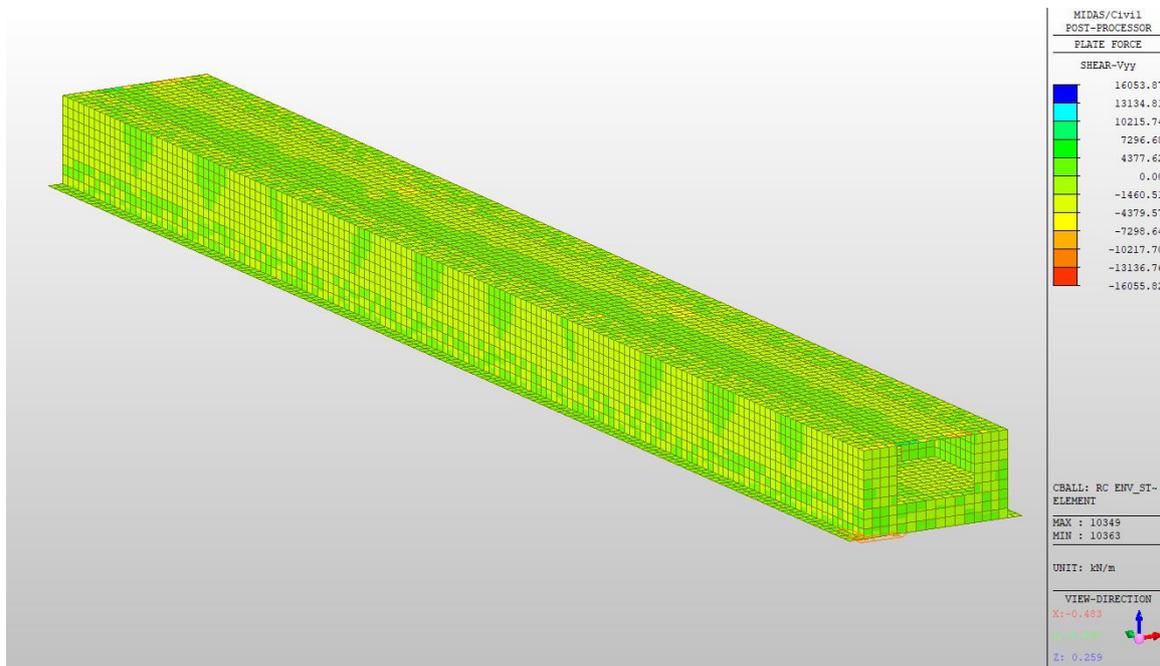


Figura 10.7: Involuppo SLU-SLV Vyy per tutta la struttura

Si riportano anche alcuni dettagli delle sollecitazioni agenti sui piedritti e soletta interna e sulla fondazione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	53 di 91

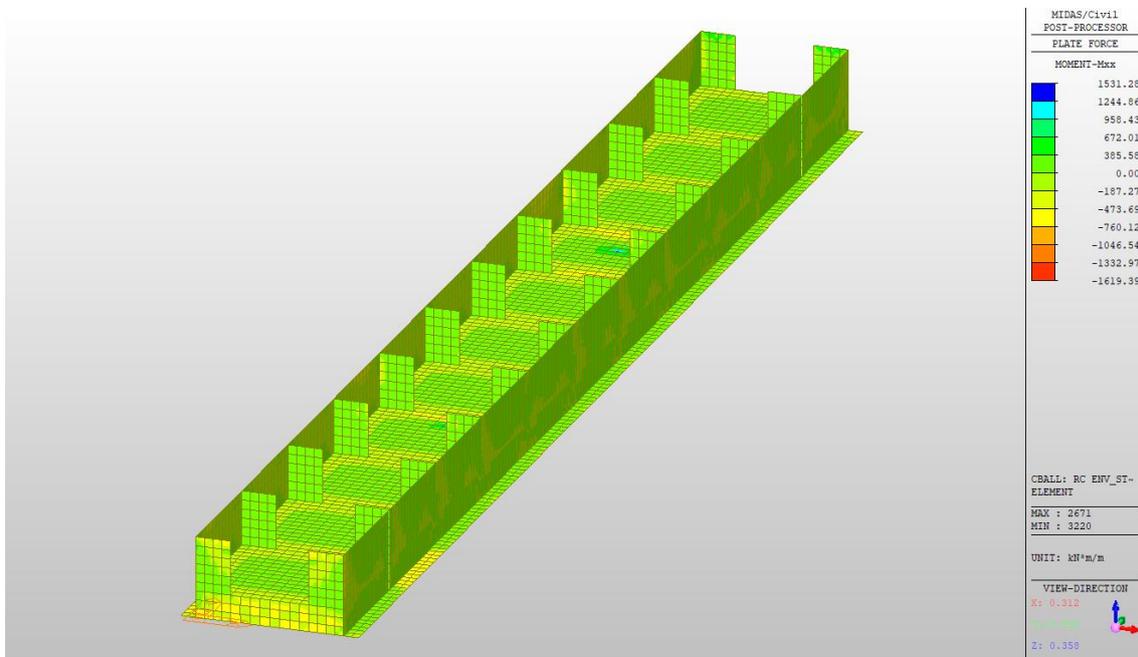


Figura 10.8: Inviluppo SLU-SLV Mxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

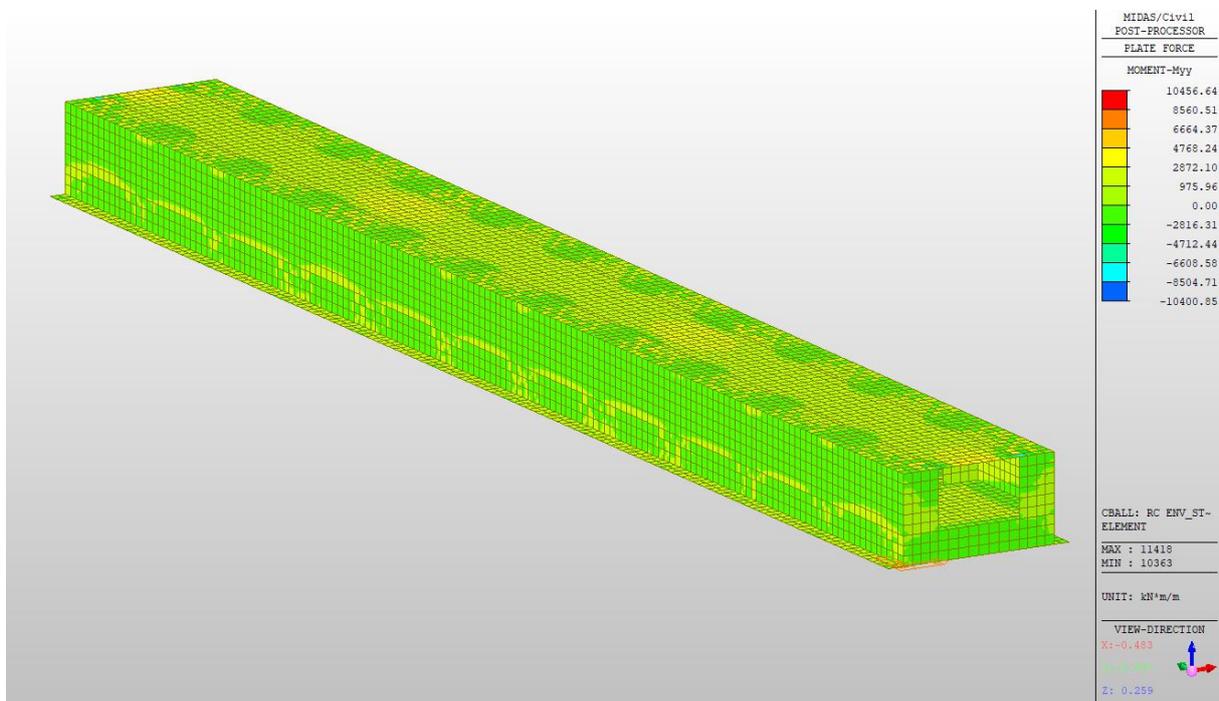


Figura 10.9: Inviluppo SLU-SLV Myy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	54 di 91

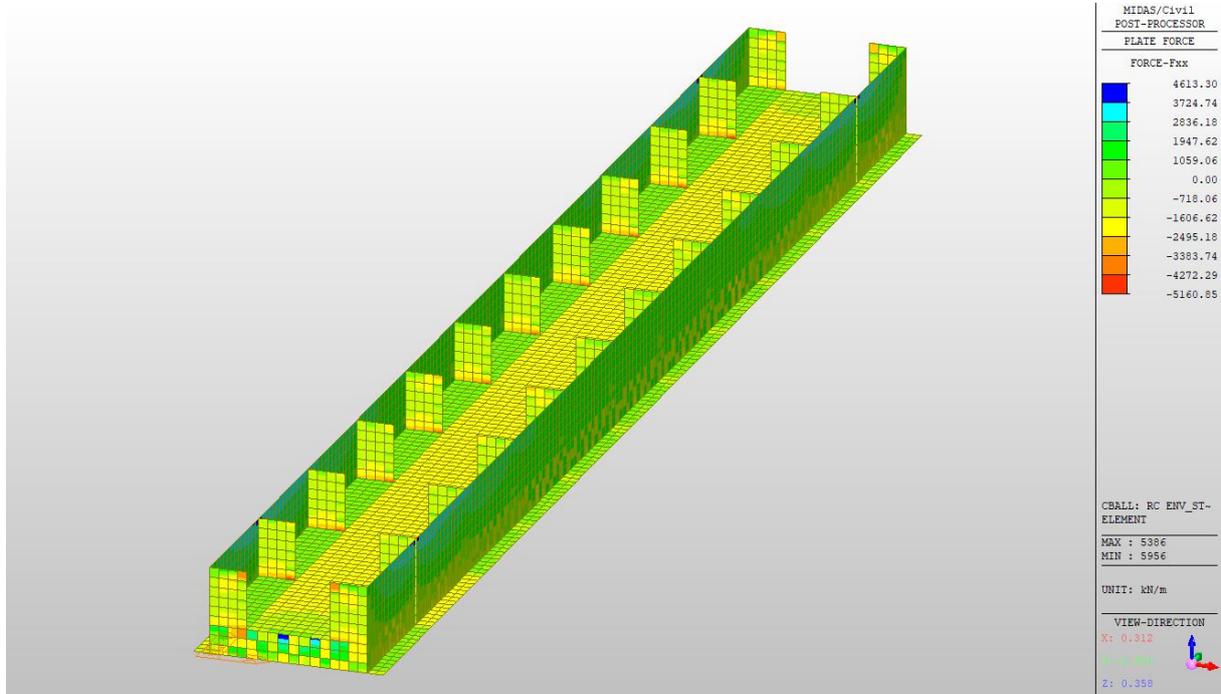


Figura 10.10: Inviluppo SLU-SLV Fxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	55 di 91

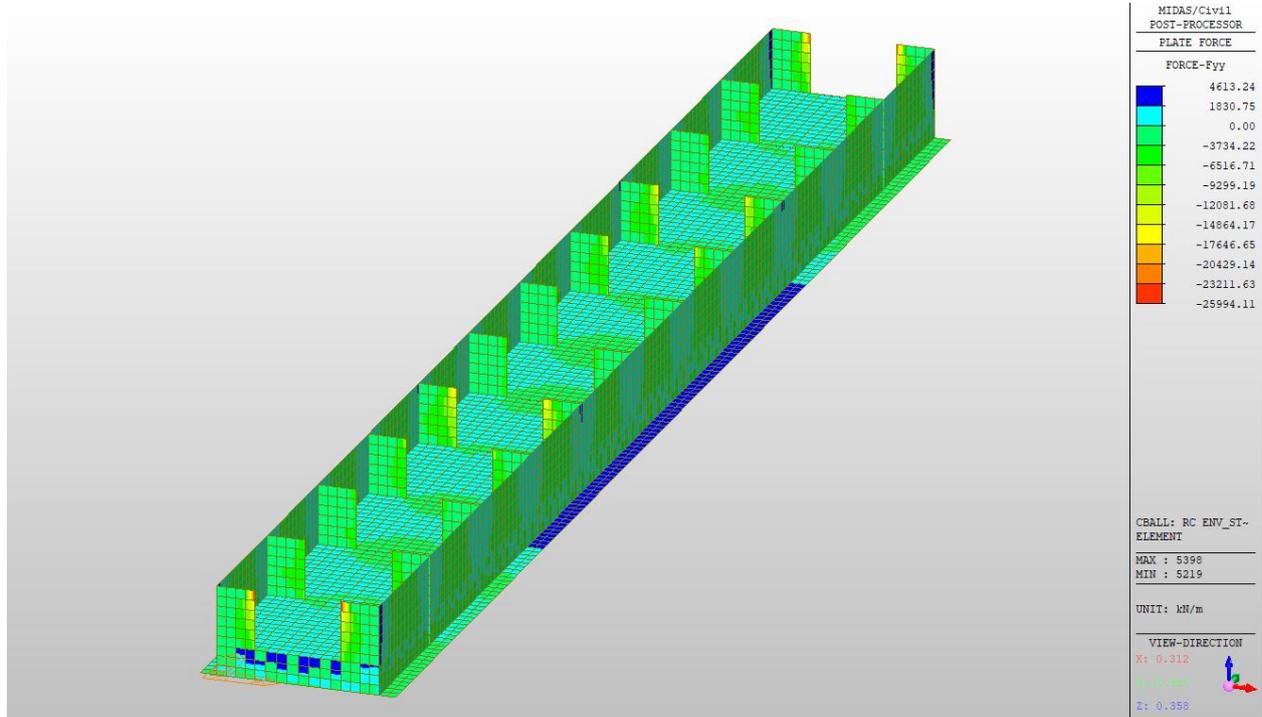


Figura 10.11: Involuppo SLU-SLV Fyy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	56 di 91

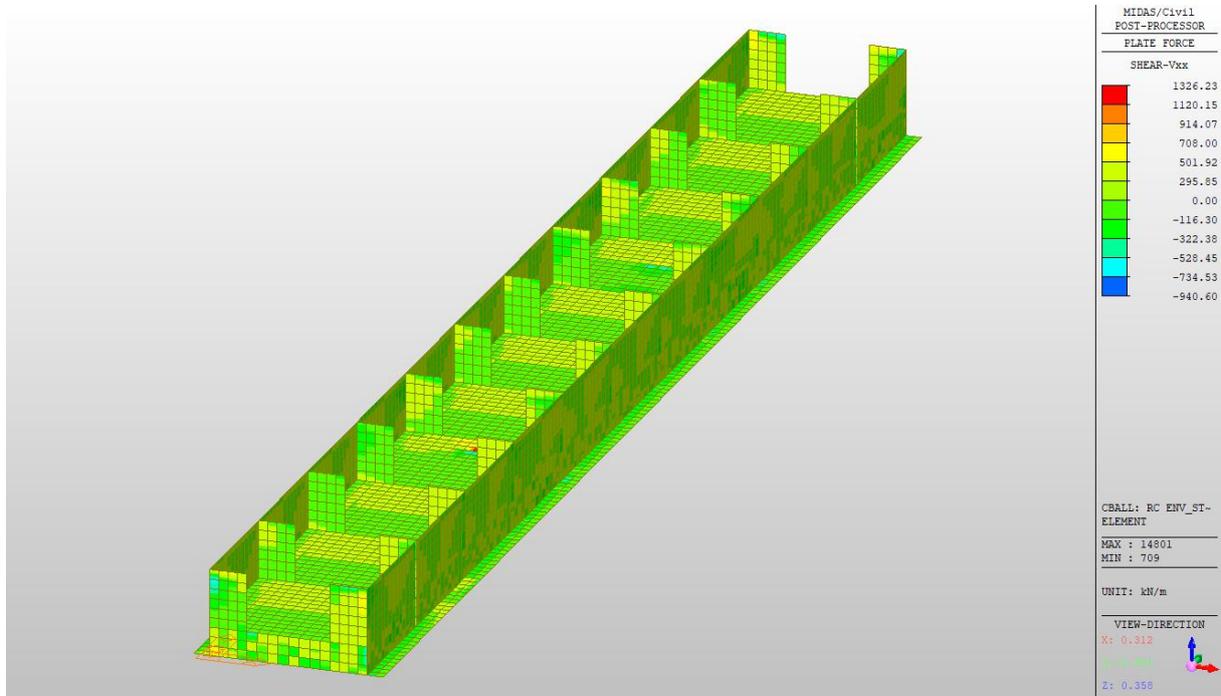


Figura 10.12: Involuppo SLU-SLV Vxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

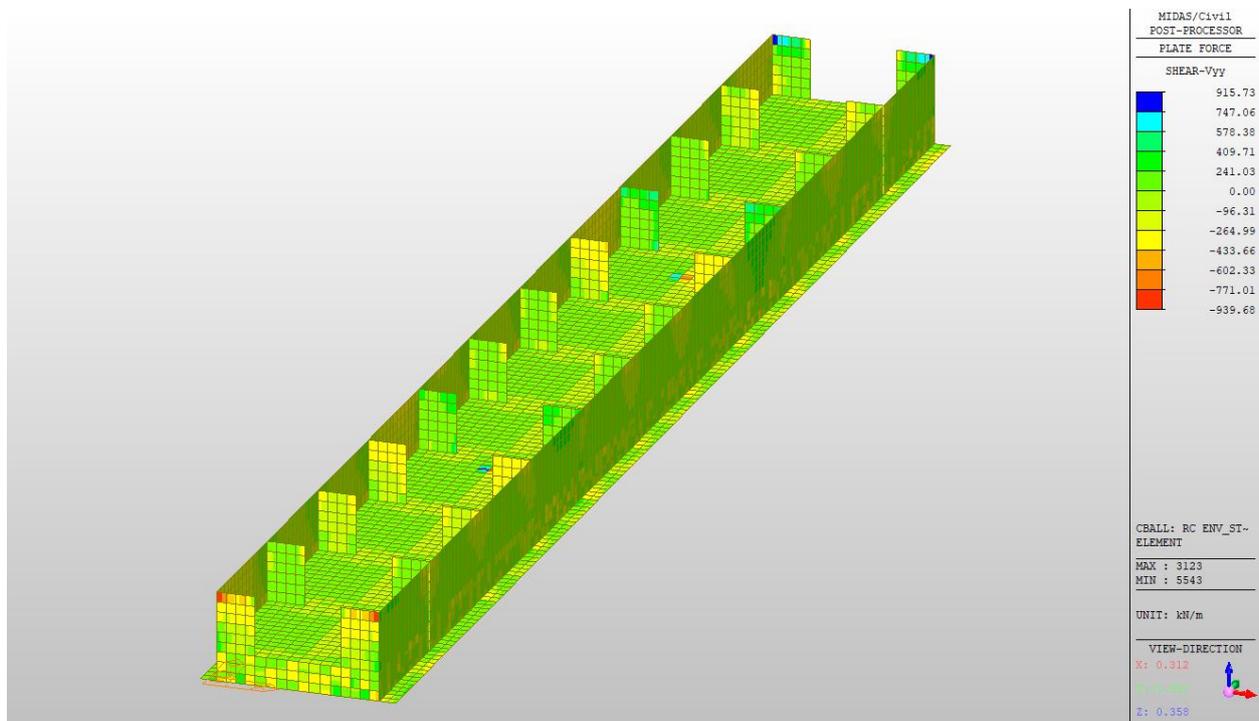


Figura 10.13: Involuppo SLU-SLV Vyy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	57 di 91

## **10.2 Sollecitazioni allo SLE**

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

58 di 91

### 10.2.1 Combinazione Rara (Caratteristica)

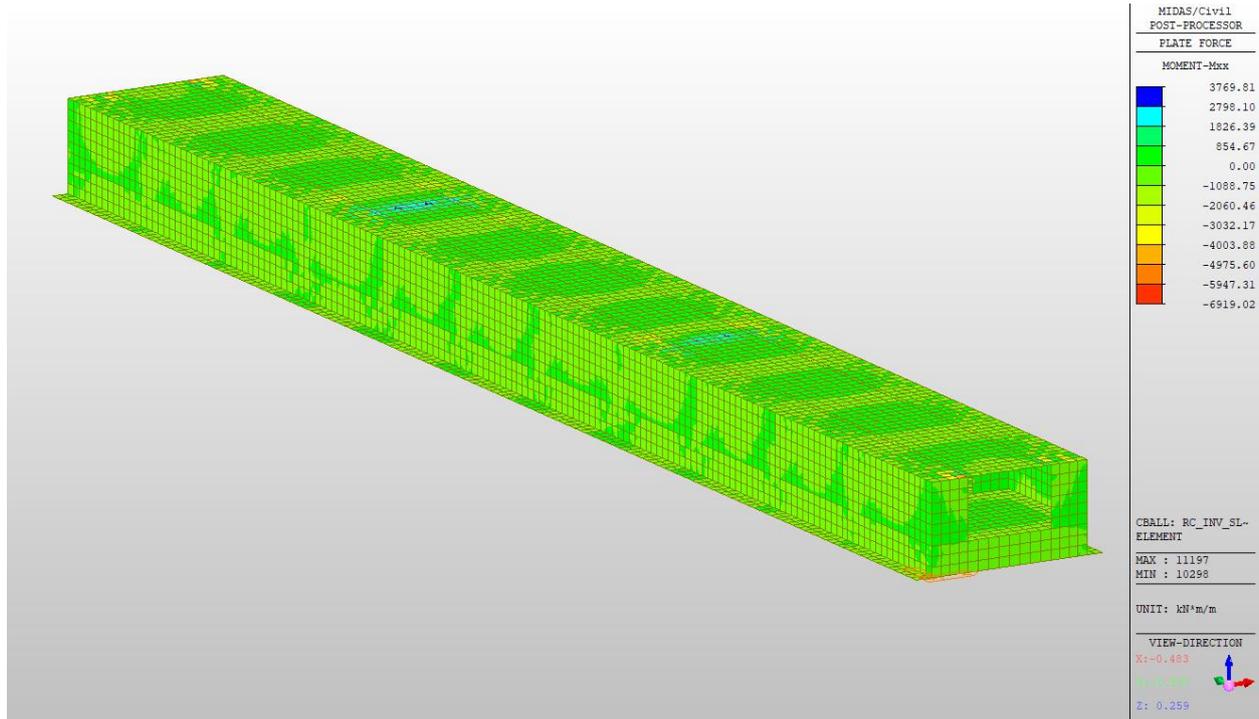


Figura 10.14: Involuppo SLE-Rara Mxx per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	59 di 91

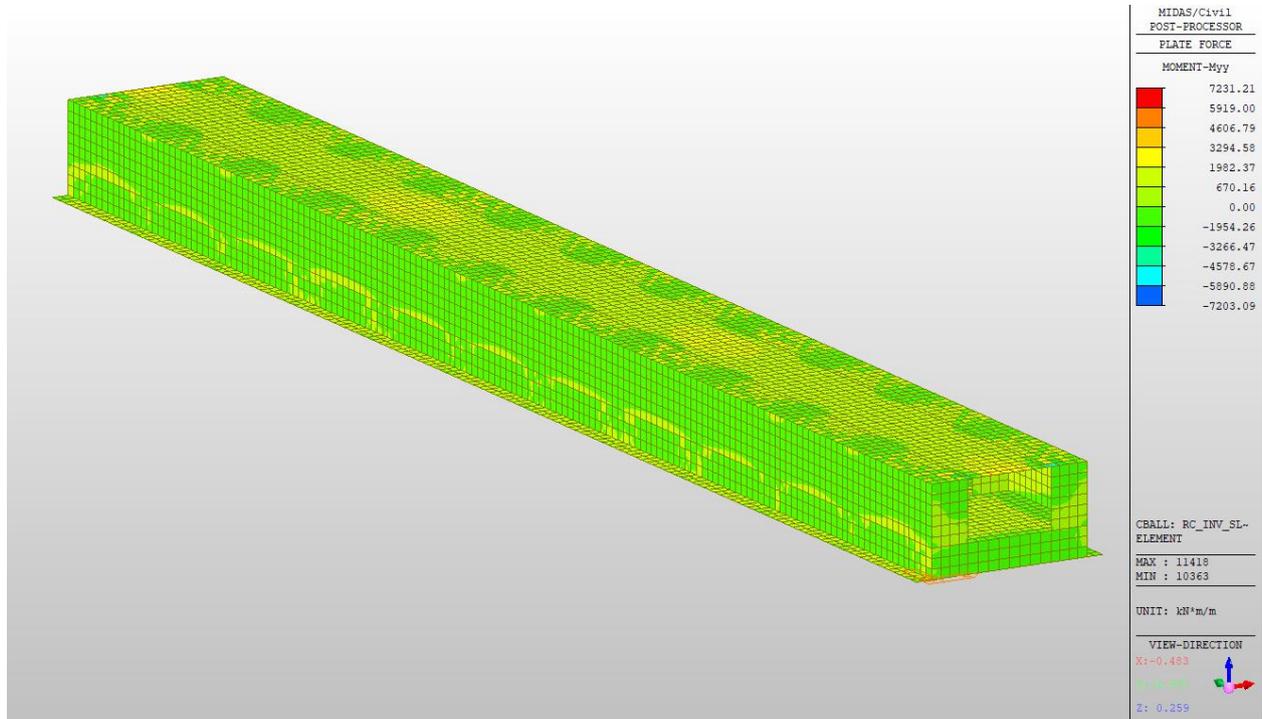


Figura 10.15: Involuppo SLE-Rara Myy per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	60 di 91

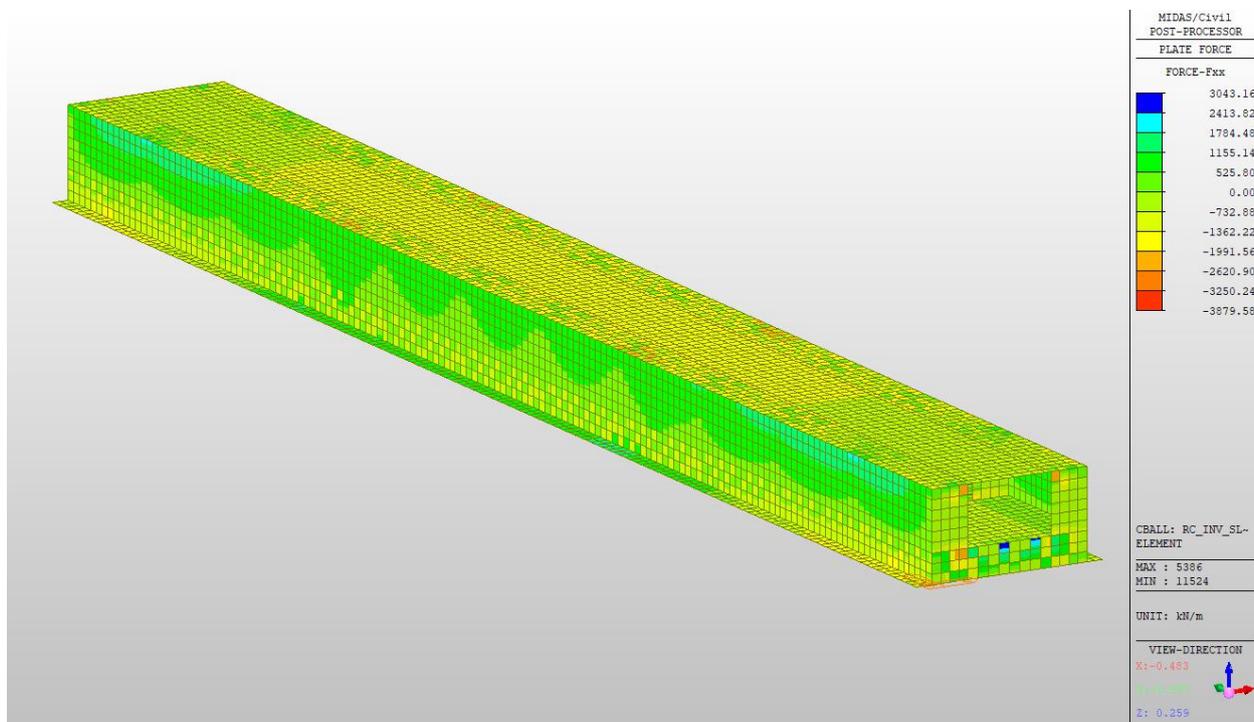


Figura 10.16: Involuppo SLE-Rara Fxx per tutta la struttura

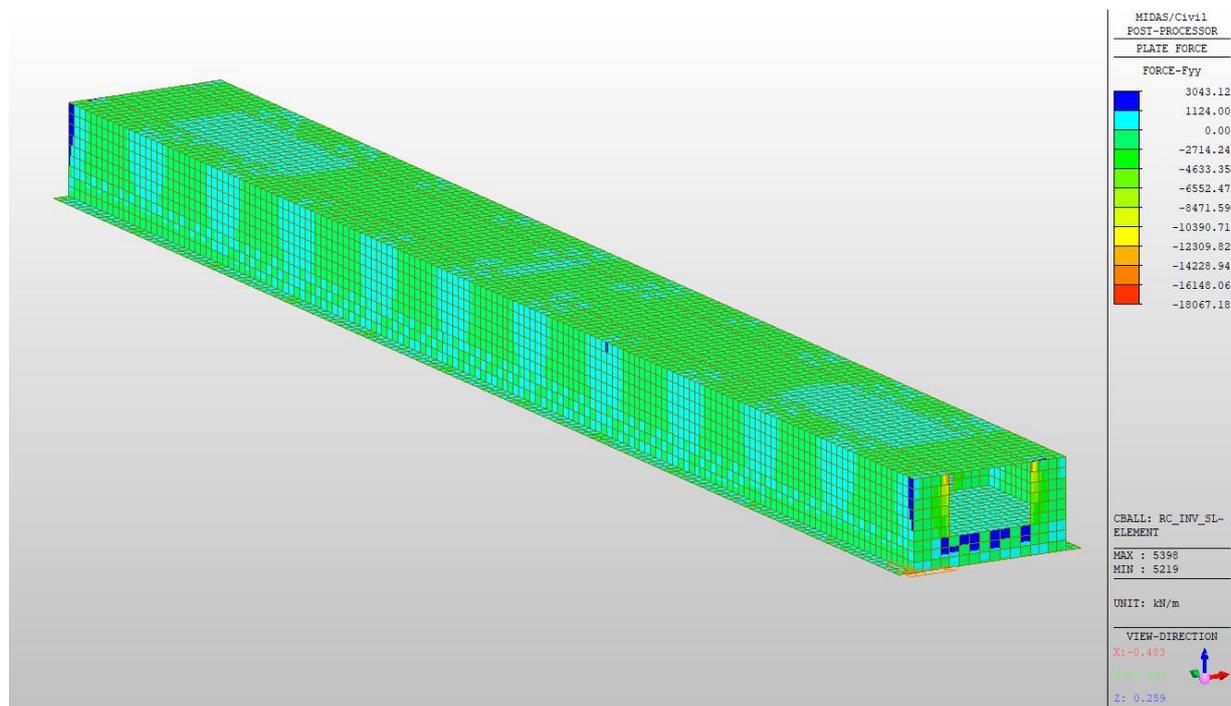


Figura 10.17: Involuppo SLE-Rara Fyy per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	61 di 91

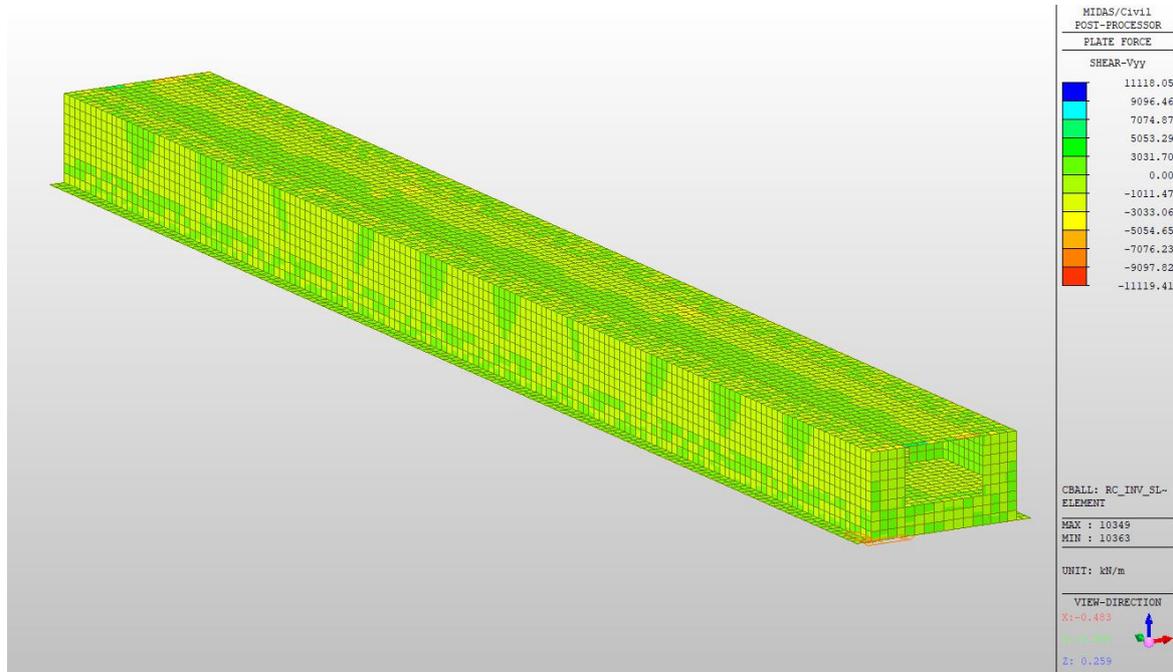


Figura 10.18: Involuppo SLE-Rara Vyy per tutta la struttura

Si riportano anche alcuni dettagli delle sollecitazioni agenti sui piedritti e soletta interna e sulla fondazione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	62 di 91

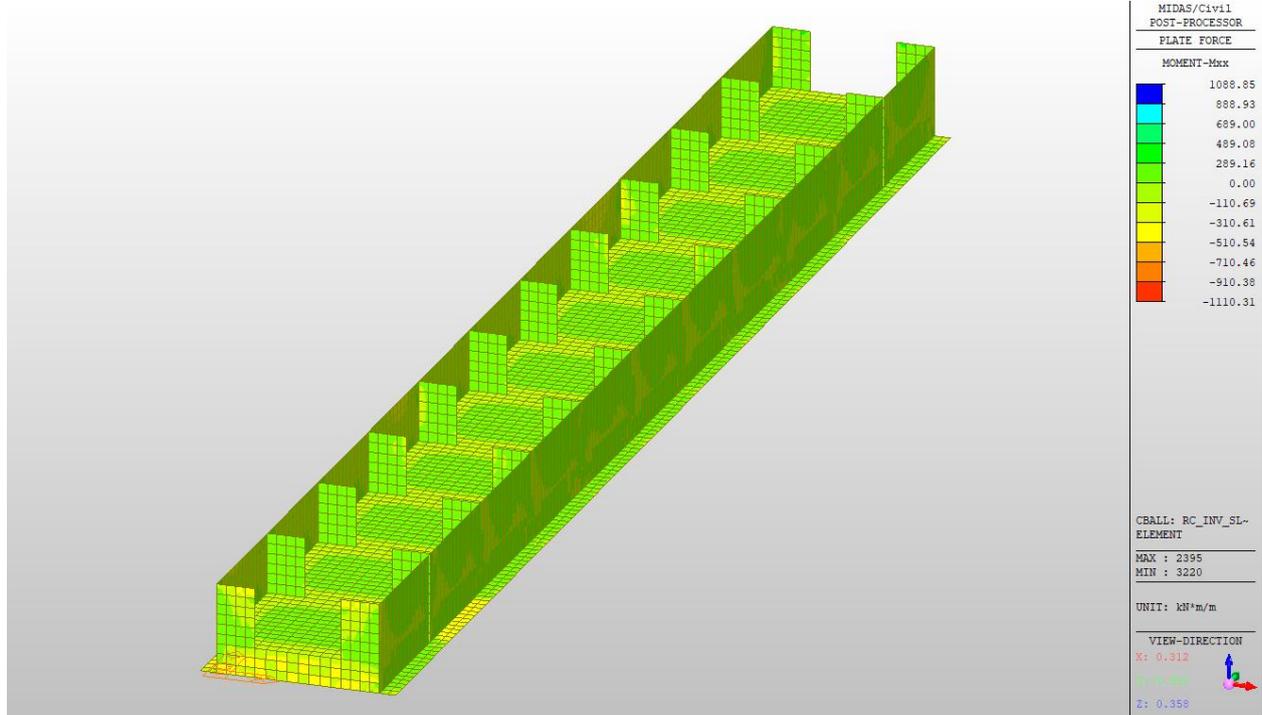


Figura 10.19: Involuppo SLE-Rara Mxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	63 di 91

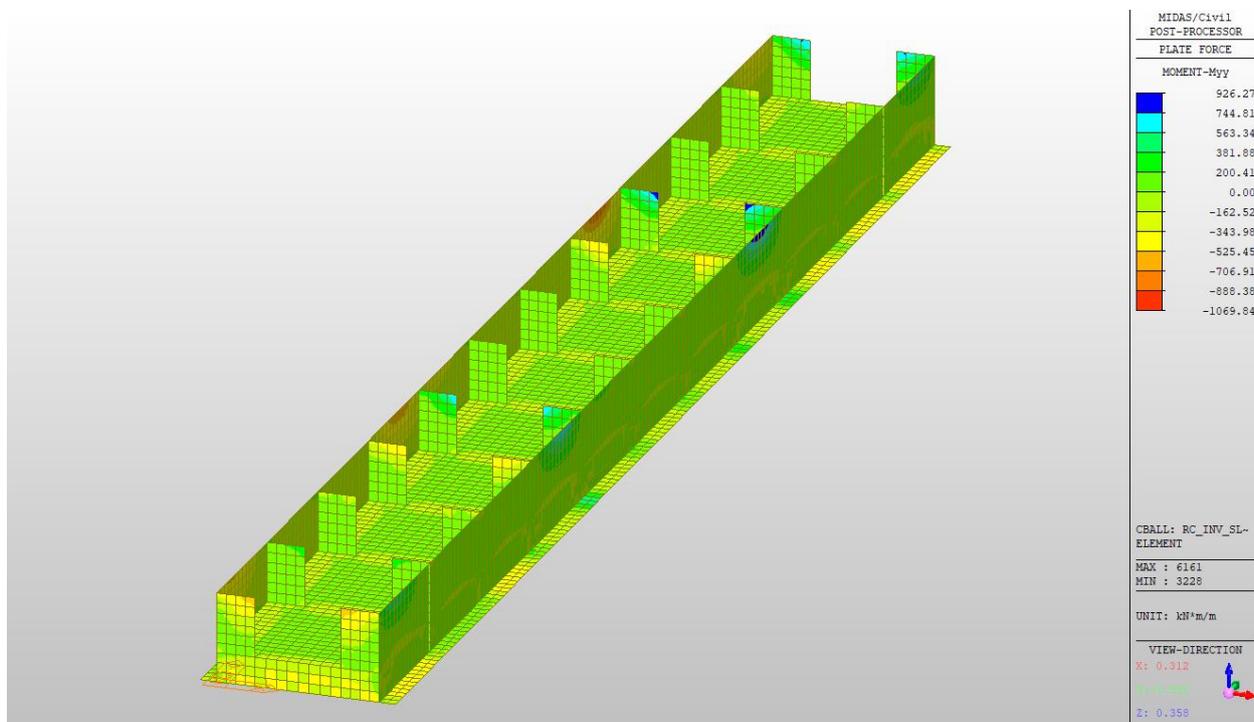


Figura 10.20: Involuppo SLE-Rara Myy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

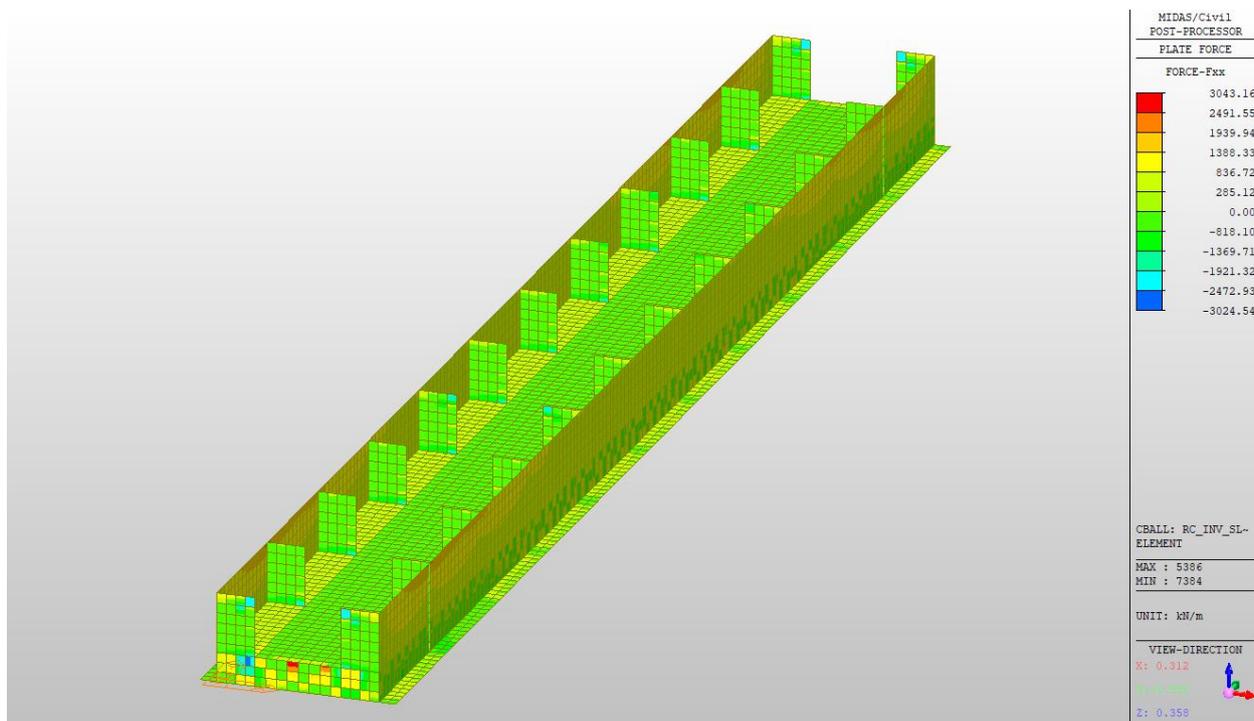


Figura 10.21: Involuppo SLE-Rara Fxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	64 di 91

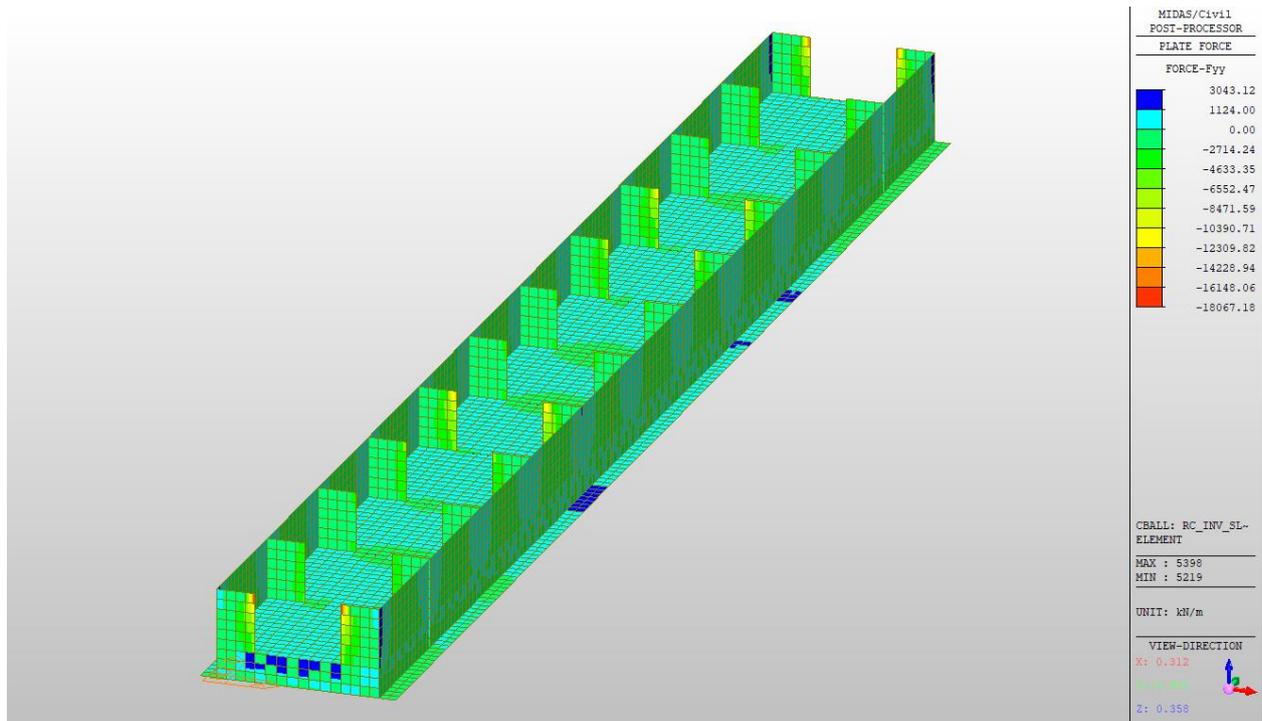


Figura 10.22: Involuppo SLE-Rara Fyy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	65 di 91

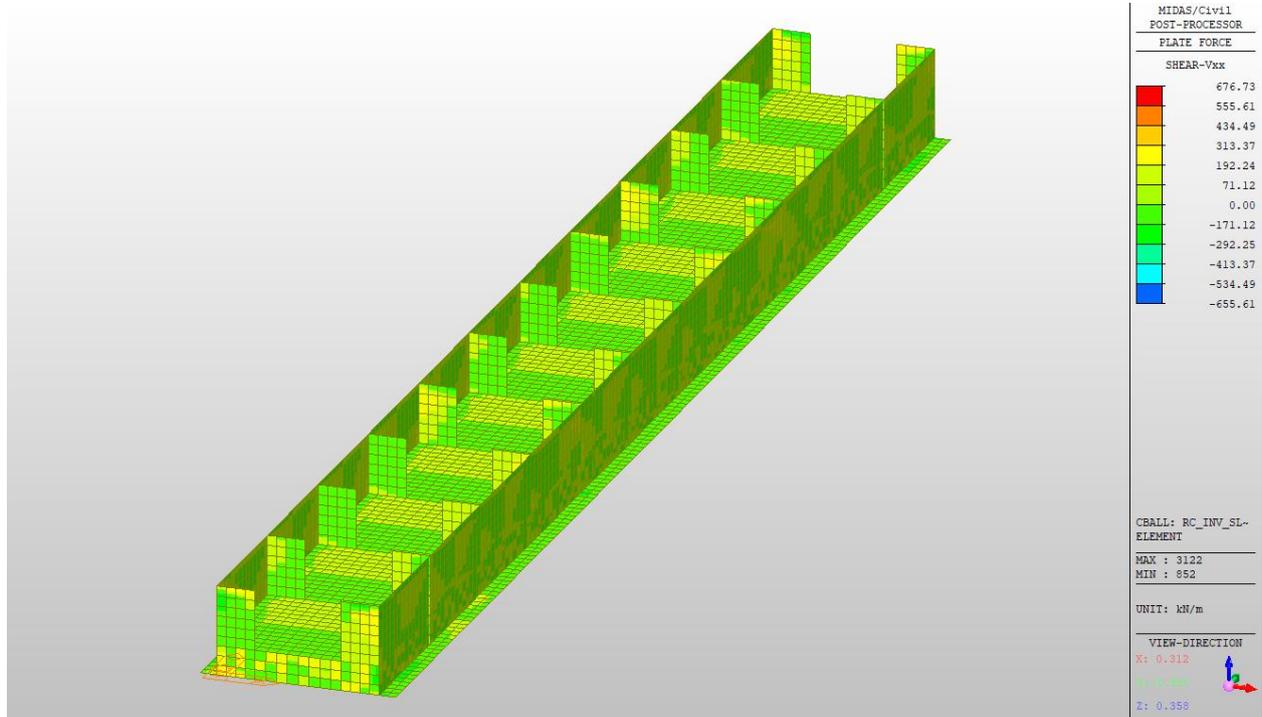


Figura 10.23: Involuppo SLE-Rara Vxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	66 di 91

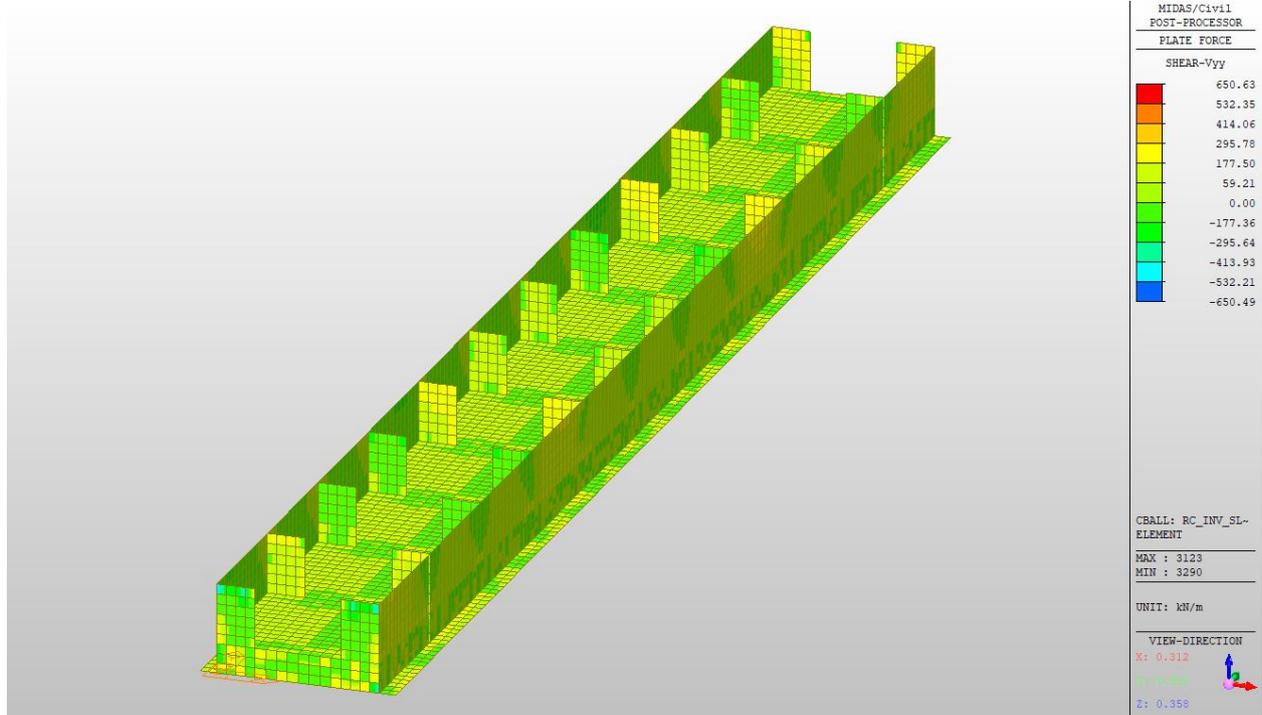


Figura 10.24: Involuppo SLE-Rara Vyy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

67 di 91

### 10.2.2 Combinazione quasi permanente

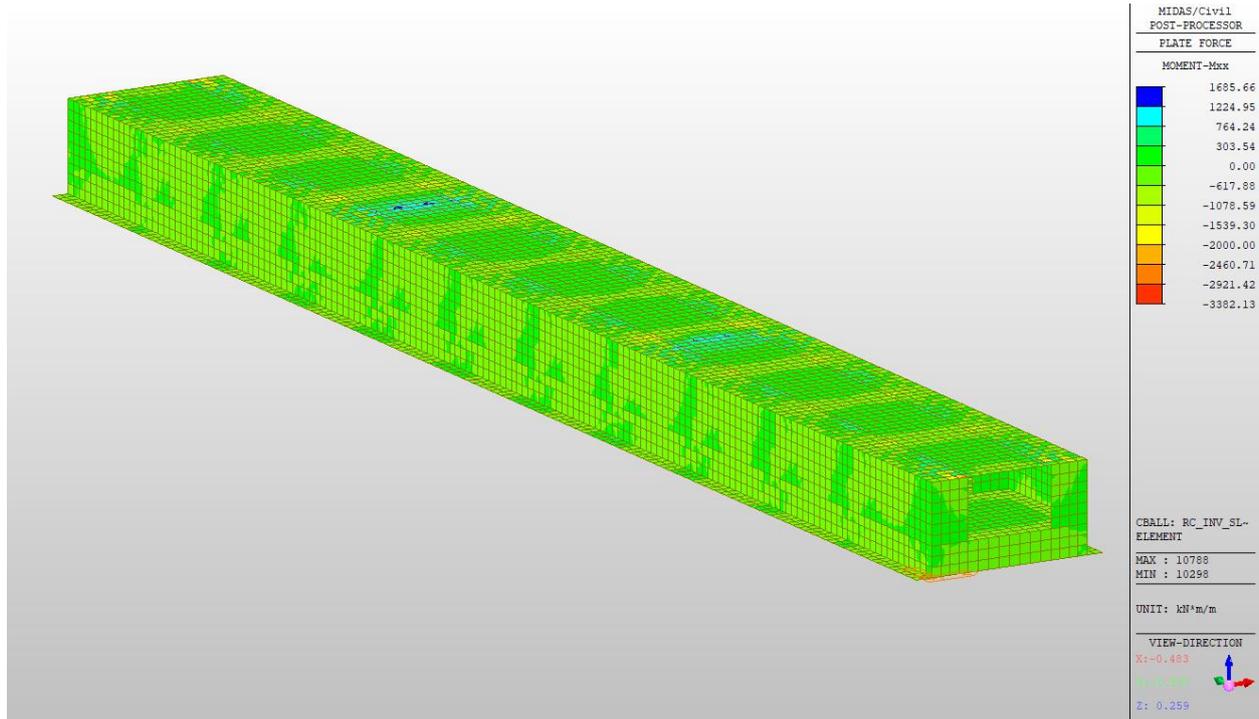


Figura 10.25: Involuppo SLE-QuasiPermanente Mxx per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	68 di 91

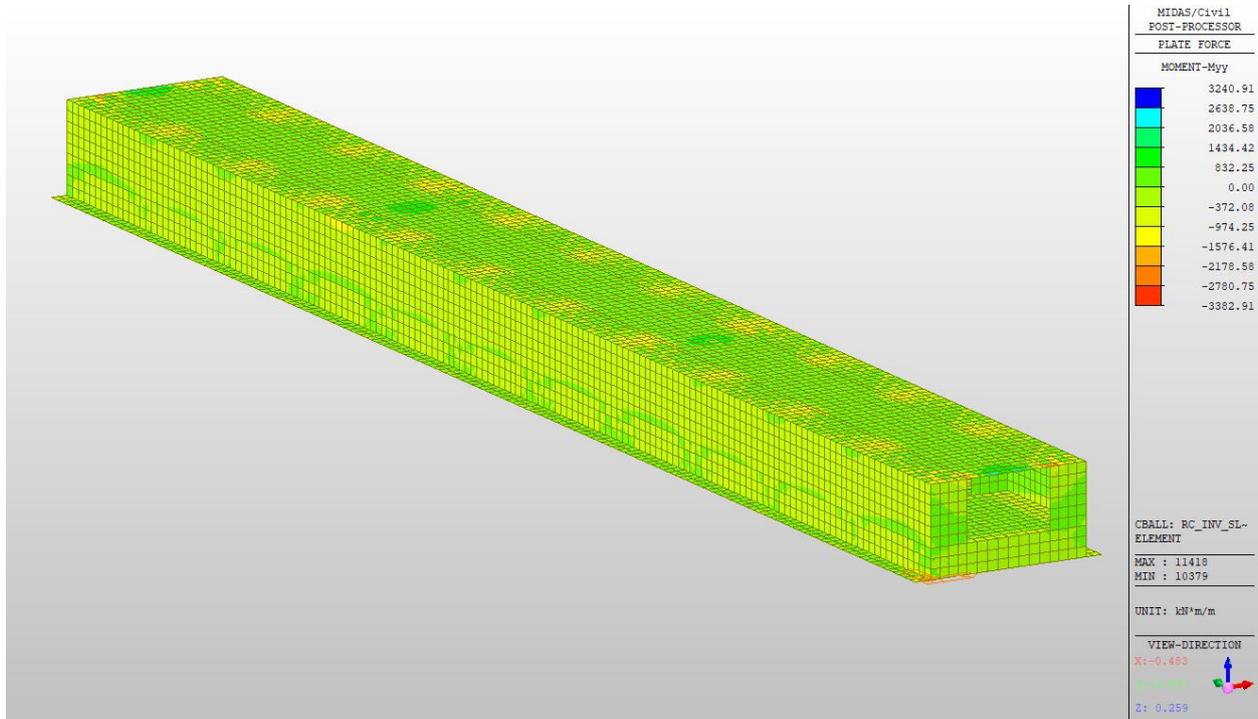


Figura 10.26: Involuppo SLE-QuasiPermanente Myy per tutta la struttura

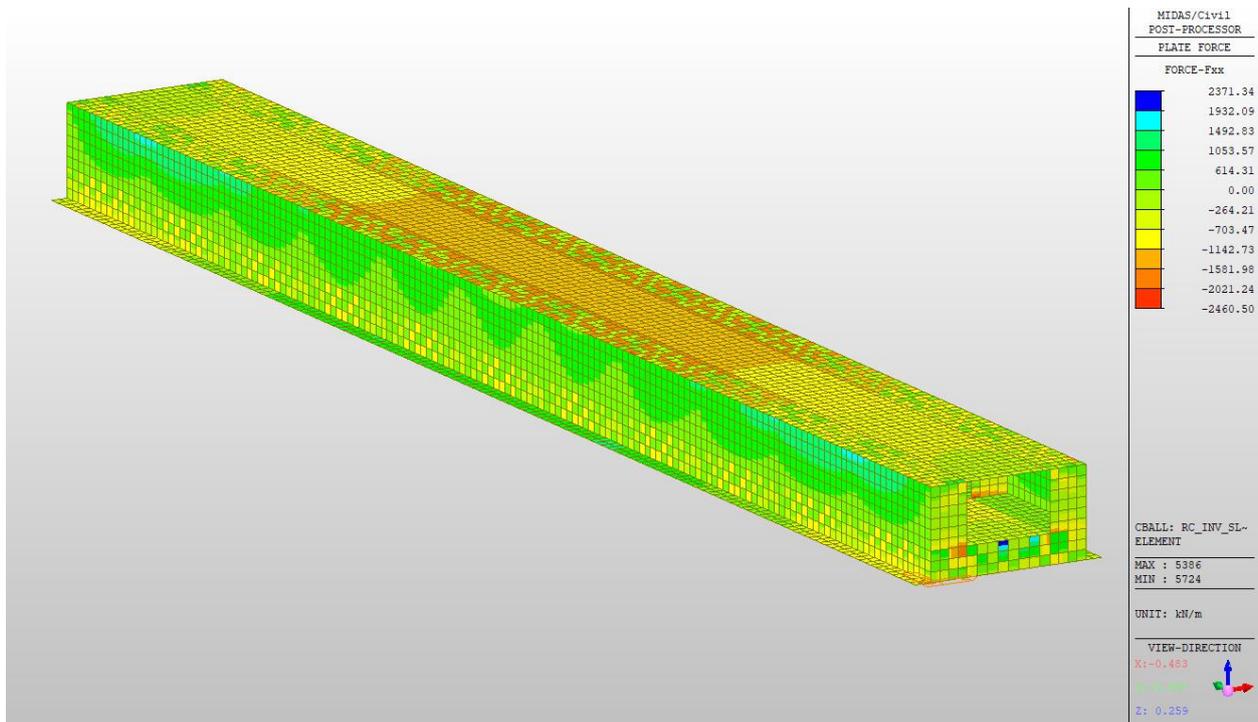


Figura 10.27: Involuppo SLE-QuasiPermanente Fxx per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	69 di 91

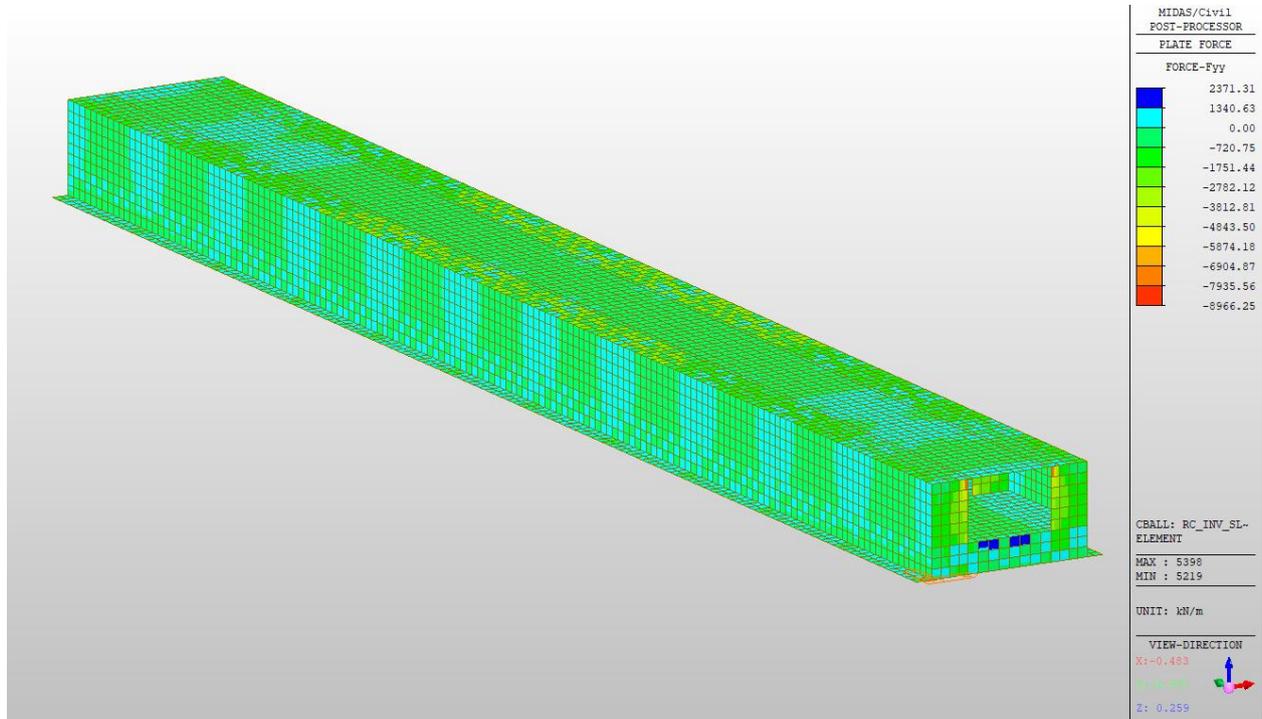


Figura 10.28: Involuppo SLE-QuasiPermanente Fyy per tutta la struttura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

70 di 91

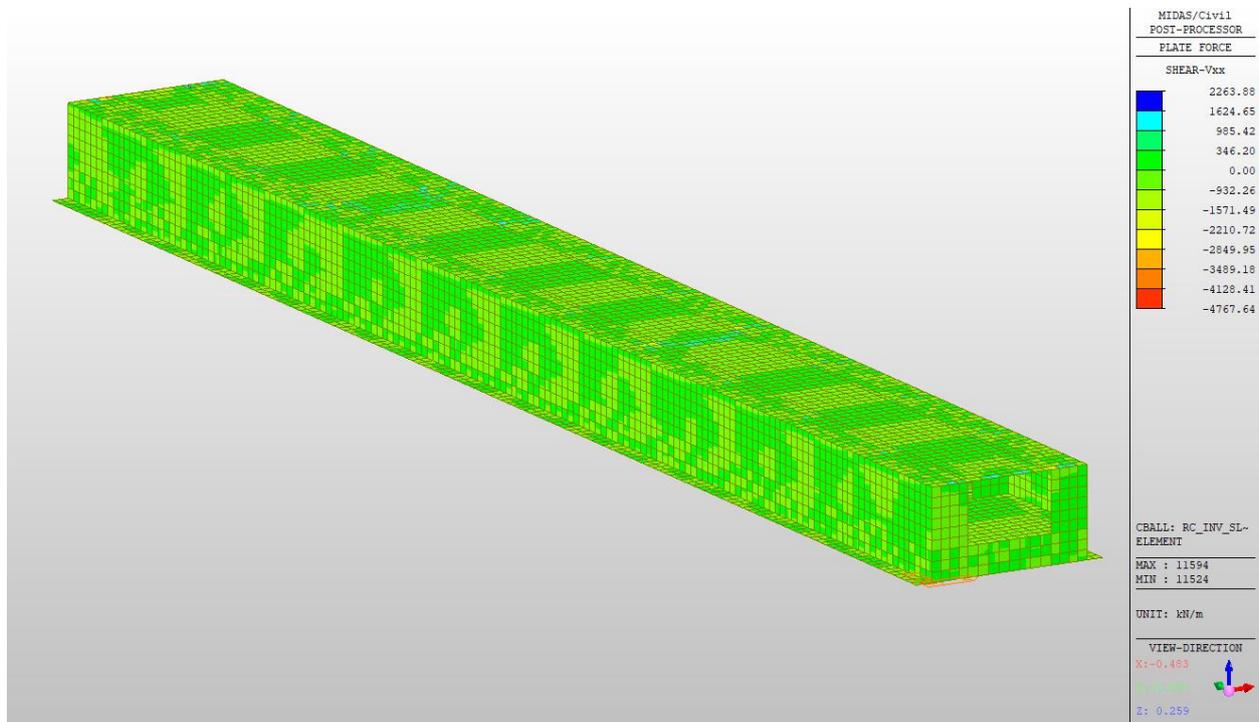


Figura 10.29: Involuppo SLE-QuasiPermanente Vxx per tutta la struttura

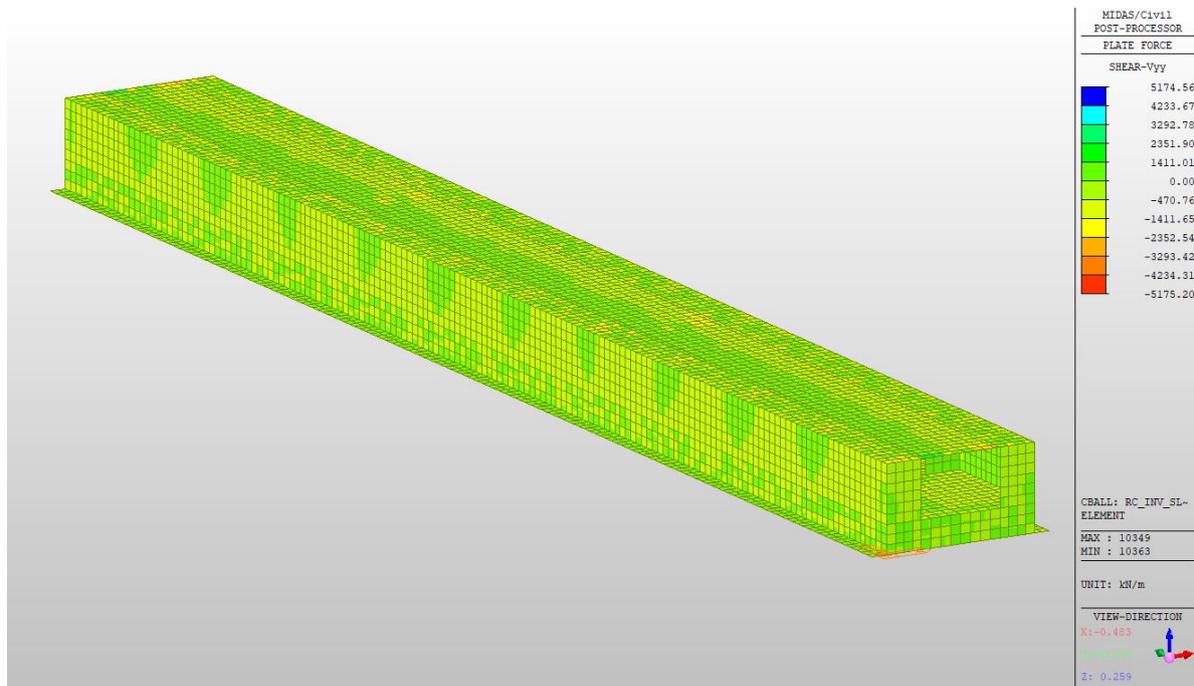


Figura 10.30: Involuppo SLE-QuasiPermanente Vyy per tutta la struttura

Si riportano anche alcuni dettagli delle sollecitazioni agenti sui piedritti e soletta interna e sulla fondazione.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	71 di 91

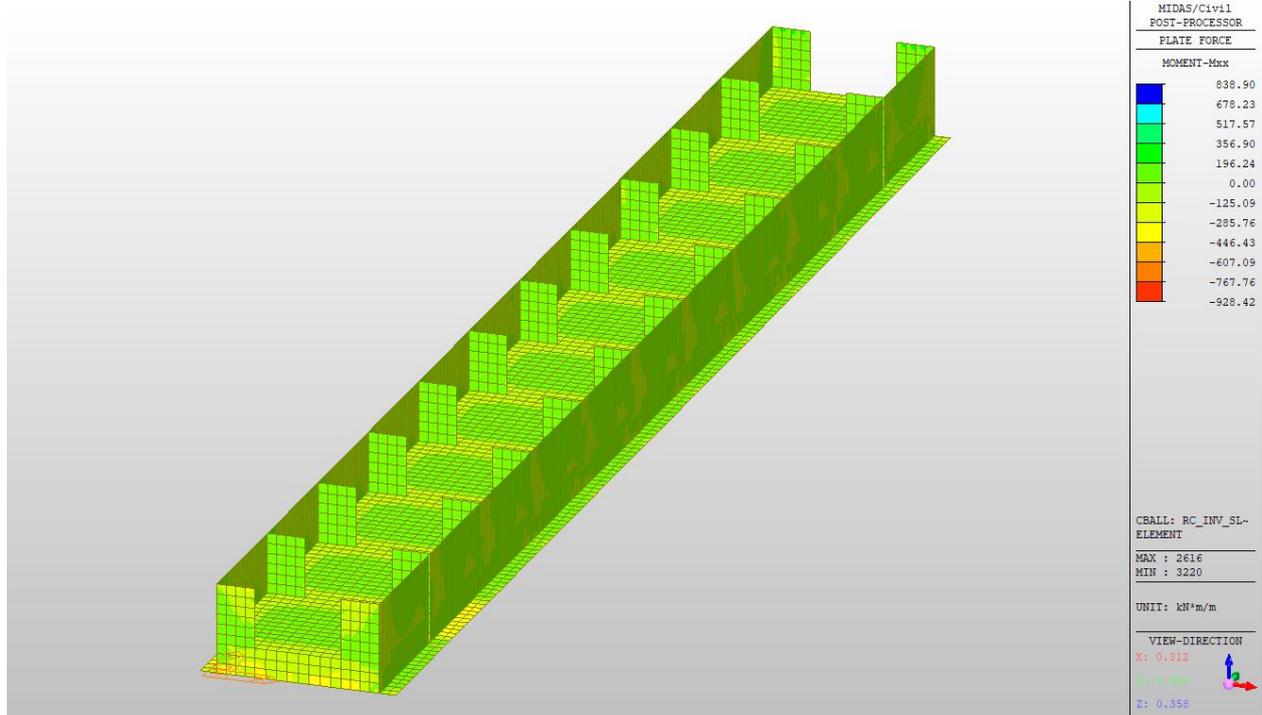


Figura 10.31: Involuppo SLE-QuasiPermanente Mxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	72 di 91

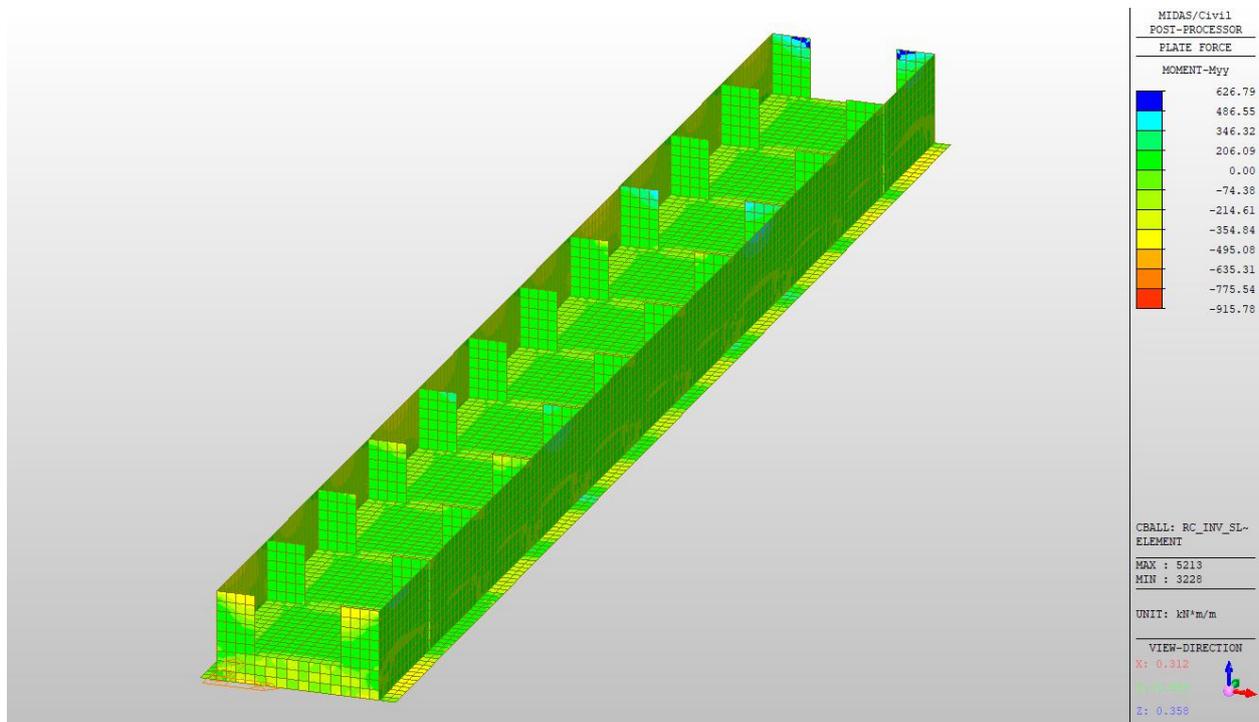


Figura 10.32: Involuppo SLE-QuasiPermanente Myy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

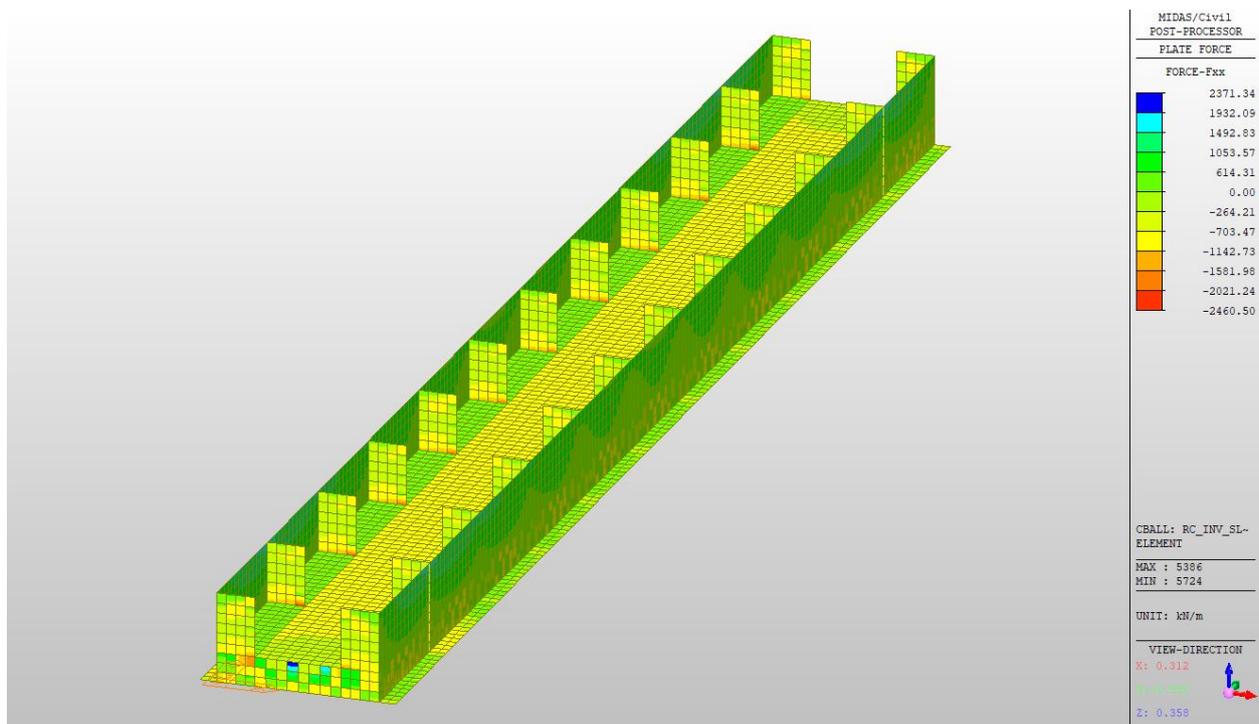


Figura 10.33: Involuppo SLE-QuasiPermanente Fxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	73 di 91

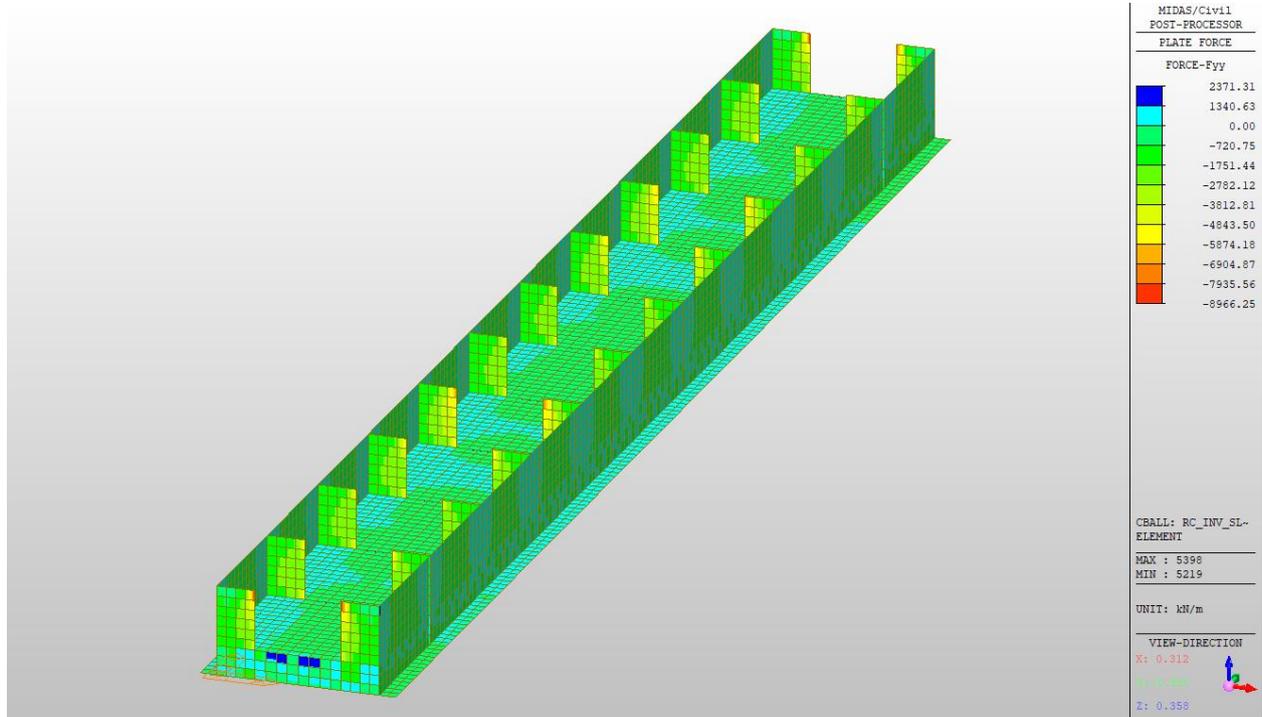


Figura 10.34: Involuppo SLE-QuasiPermanente Fyy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

74 di 91

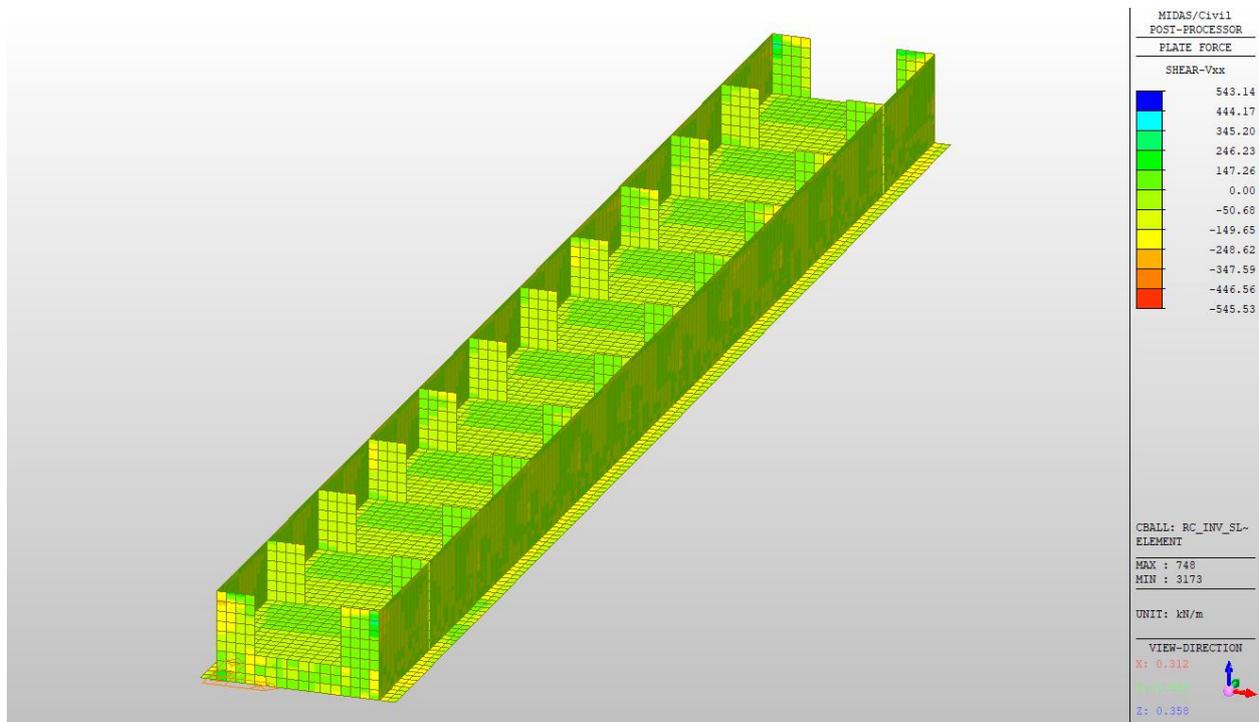


Figura 10.35: Involuppo SLE-QuasiPermanente Vxx in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

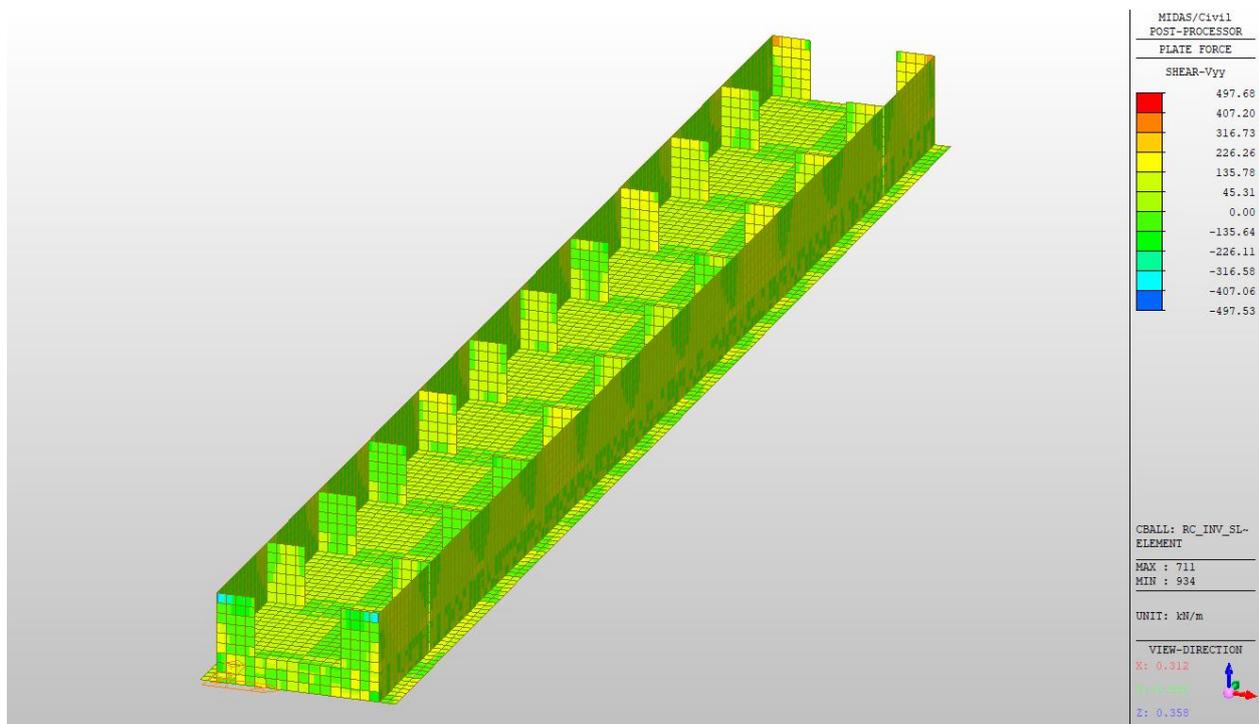


Figura 10.36: Involuppo SLE-QuasiPermanente Vyy in evidenza piedritti interni, pareti e soletta inferiore

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

75 di 91

## 11. VERIFICHE SLU

Si riportano nel seguito le verifiche allo stato limite ultimo di 4 componenti strutturali ritenuti più rappresentativi:

- Solaio di copertura;
- Solaio intermedio;
- Fondazione;
- Piedritti/Pareti verticali.

Tutti gli elementi saranno dimensionati assicurando le richieste di flessione (o pressoflessione ove necessario) e taglio. Le verifiche vengono effettuate con il software della Aztec Informatica SAX (v. 10.0).

### 11.1 Solaio di copertura

Per il calcolo si considera una sezione equivalente della soletta di copertura avente sezione pari a 1.20m

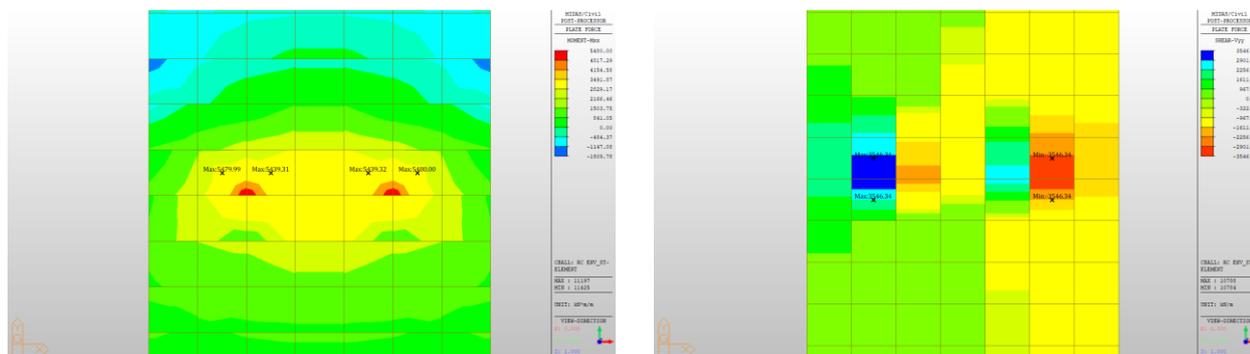


Figura 11.1: Sollecitazioni di calcolo per solaio di copertura

$$M_{\max,SLU} = 5480 \text{ kNm/m} ; V_{\max,SLU} = 3546 \text{ kN/m}$$

L'armatura inserita consiste in:

- i. Inferiormente: 10  $\phi$ 26;
- ii. Superiormente: 10  $\phi$ 26.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	76 di 91

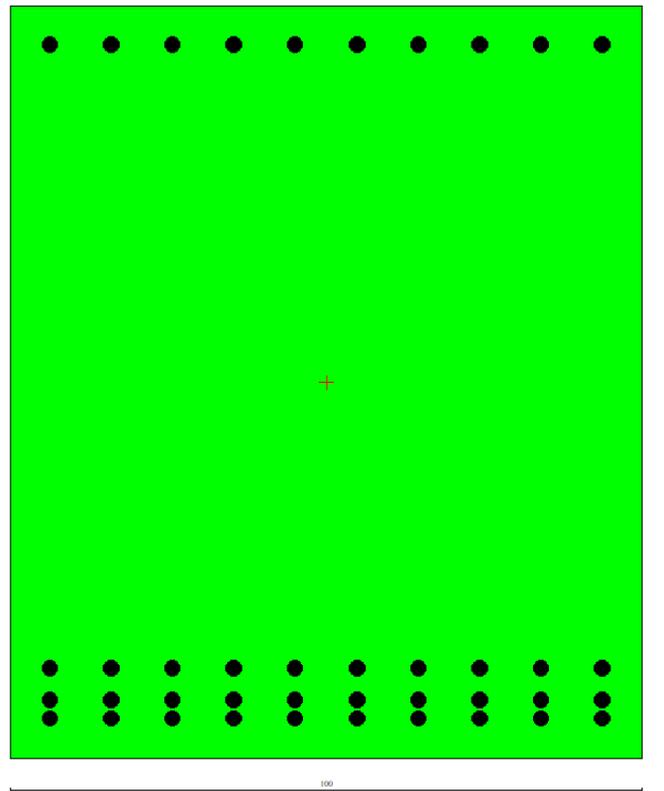


Figura 11.2: Geometria e sezione solaio di copertura

Risultati

**Sollecitazioni applicate**

N = 0.0000 kN       $T_y = 3546.0000$  kN       $T_x = 0.0000$  kN  
 $M_{ytot} = 5480.0000$  kNm       $M_{xtot} = 0.0000$  kNm       $M_t = 0.0000$  kNm

**Verifiche eseguite:** Verifica di dominio (SLU)

Sollecitazioni ultime    Taglio    Dominio 3D    Momento-Curvatura

N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	FS
0.0000	0.0000	6252.8372	1.141

N = 0.0000 kN      Mx = 0.0000 kNm      My = 6252.8372 kNm      FS = 1.141  
 FSmin = 1.141

**COP\_mezzeria**      **Comb. n° 1**      <<    >>

Sezione calcolata       Combinazione calcolata

Chiudi      Help

Figura 11.3: Verifica a flessione semplice solaio di copertura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	77 di 91

CARATTERISTICHE MATERIALI			
ACCIAIO			
$f_y$	450	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio
$f_{yd}$	391.30	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio
CLS			
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ctd}$	1.47	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione del cls
$f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del cls
$f'_{cd}$	9.41	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
SOLLECITAZIONI			
$V_{Ed}$	3761	kN	Taglio di calcolo allo stato limite ultimo
DATI SEZIONE RESISTENTE			
$b_w$	1000	mm	Larghezza della membratura resistente al taglio
$H$	1000	mm	Altezza totale della sezione
$c$	50	mm	Copriferro
$d$	950	mm	Altezza utile della sezione
DATI ARMATURA			
Staffe	16	mm	Diametro staffe
$A_{sw}$	201	mm <sup>2</sup>	Area delle staffe
$n_b$	5		Numero delle braccia
$s$	100	mm	Passo delle staffe
VERIFICA DELL'ARMATURA A TAGLIO			
$\alpha$	90	°	Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento
$\theta$	40	°	Inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse dell'elemento
$\alpha_c$	1.0		Coefficiente maggiorativo da normativa
$V_{Rsd}$	3972	kN	Resistenza a "taglio trazione"
$V_{Rod}$	3970	kN	Resistenza a "taglio compressione"
$V_{Rd}$	3970	kN	<b>ok</b> $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

Figura 11.4: Verifica a taglio solaio di copertura

Non si è verificato il solaio del marciapiede avendo comunque sollecitazioni minori e una sezione resistente maggiore.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	78 di 91

## 11.2 Solaio intermedio

Per il calcolo delle sollecitazioni del solaio intermedio si considera uno schema semplificato di trave incastrata-incastrata:

$G_1$	7.5	kN/m
$G_2$	2.5	kN/m
Q	5	kN/m
L	15	m
p	21	kN/m
$M_{ED}$	393.75	kNm/m
$V_{ED}$	157.5	kNm/m

Figura 11.5: Sollecitazioni di calcolo solaio intermedio

$$M_{\max,SLU} = 393.75 \text{ kNm/m} ; V_{\max,SLU} = 157.5 \text{ kN/m}$$

L'armatura inserita consiste in:

- i. Inferiormente: 5  $\phi 24$ ;
- ii. Superiormente: 10  $\phi 24$ .

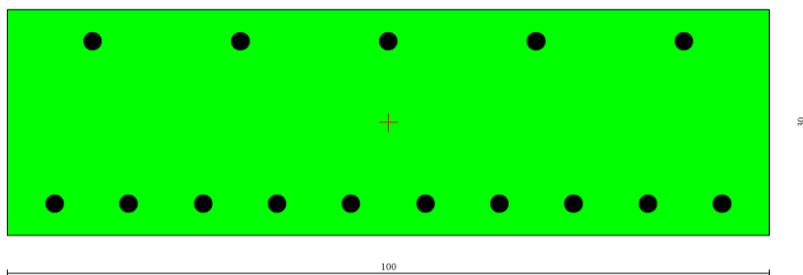


Figura 11.6: Geometria sezione e armatura solaio intermedio

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	79 di 91

Risultati

**Sollecitazioni applicate**

N = 0.0000 kN       $T_y = 0.0000$  kN       $T_x = 0.0000$  kN  
 $M_{y\text{tot}} = 393.7500$  kNm       $M_{x\text{tot}} = 0.0000$  kNm       $M_t = 0.0000$  kNm

**Verifiche eseguite:** Verifica di dominio (SLU)  
 ..

Sollecitazioni ultime    Dominio 3D    Momento-Curvatura

N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	FS
0.0000	0.0000	395.6352	1.005

N = 0.0000 kN      Mx = 0.0000 kNm      My = 395.6352 kNm      FS = 1.005  
 FSmin = 1.005

**INT**      << >>      **Comb. n° 1**      << >>

Sezione calcolata      Combinazione calcolata

Chiudi      Help

Figura 11.7 Verifica a flessione semplice solaio intermedio

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	80 di 91

CARATTERISTICHE MATERIALI			
ACCIAIO			
$f_y$	450	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio
$f_{yd}$	391.30	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio
CLS			
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ctd}$	1.47	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione del cls
$f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del cls
$f'_{cd}$	9.41	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
SOLLECITAZIONI			
$V_{Ed}$	158	kN	Taglio di calcolo allo stato limite ultimo
DATI SEZIONE RESISTENTE			
$b_w$	1000	mm	Larghezza della membratura resistente al taglio
$H$	300	mm	Altezza totale della sezione
$c$	30	mm	Copriferro
$d$	270	mm	Altezza utile della sezione
DATI ARMATURA			
Staffe	12	mm	Diametro staffe
$A_{sw}$	113	mm <sup>2</sup>	Area delle staffe
$n_b$	2.5		Numero delle braccia
$s$	400	mm	Passo delle staffe
VERIFICA DELL'ARMATURA A TAGLIO			
$\alpha$	90	°	Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento
$\theta$	22	°	Inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse dell'elemento
$\alpha_c$	1.0		Coefficiente maggiorativo da normativa
$V_{Rsd}$	168	kN	Resistenza a "taglio trazione"
$V_{Rcd}$	788	kN	Resistenza a "taglio compressione"
$V_{Rd}$	168	kN	<b>ok</b> $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

Figura 11.8: Verifica a taglio solaio intermedio

Si faccia presente che la verifica a flessione della soletta risulta molto prossima a 1: si potrà migliorare in fase definitiva prevedendo soluzioni di solaio alleggerito in modo da ridurre l'entità delle sollecitazioni e ottimizzare l'elemento strutturale.

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

81 di 91

### 11.3 Piedritti

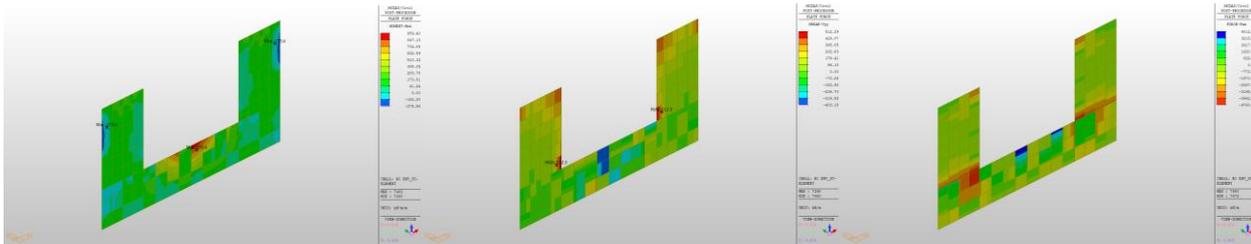


Figura 11.9: Sollecitazioni di calcolo piedritti

$$M_{\max,SLU} = 959.4 \text{ kNm/m} ; N_{\min,SLU} = 772 \text{ kN/m} ; V_{\max,SLU} = 512.3 \text{ kN/m}$$

L'armatura inserita consiste in:

- i. Inferiormente:  $10\phi 26$ ;
- ii. Superiormente:  $10\phi 26$ .

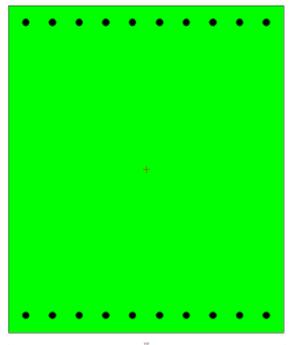


Figura 11.10 Geometria sezione e armatura piedritti

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	82 di 91

Diagramma M - N

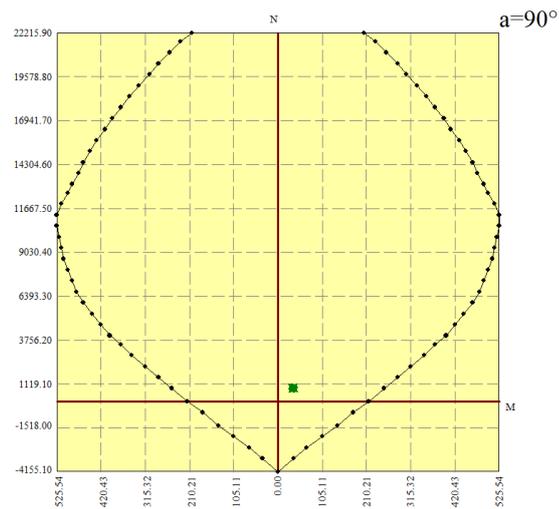
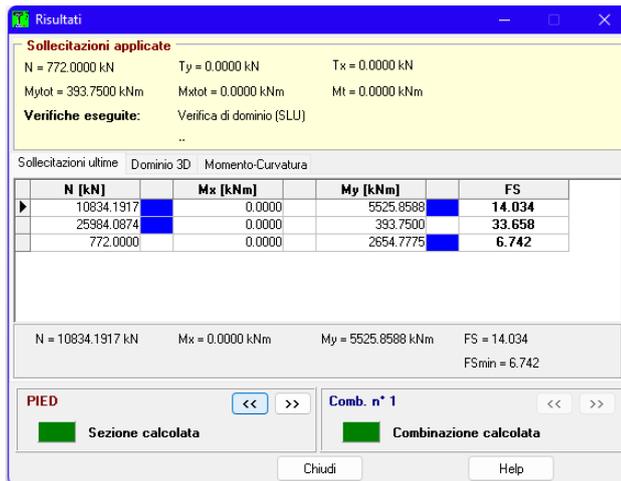


Figura 11.11: Verifica a pressoflessione piedritti

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	83 di 91

CARATTERISTICHE MATERIALI			
ACCIAIO			
$f_y$	450	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio
$f_{yd}$	391.30	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio
CLS			
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ctd}$	1.47	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione del cls
$f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del cls
$f'_{cd}$	9.41	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
SOLLECITAZIONI			
$V_{Ed}$	512	kN	Taglio di calcolo allo stato limite ultimo
DATI SEZIONE RESISTENTE			
$b_w$	1000	mm	Larghezza della membratura resistente al taglio
$H$	1200	mm	Altezza totale della sezione
$c$	50	mm	Copriferro
$d$	1150	mm	Altezza utile della sezione
DATI ARMATURA			
Staffe	12	mm	Diametro staffe
$A_{sw}$	113	mm <sup>2</sup>	Area delle staffe
$n_b$	2.5		Numero delle braccia
$s$	400	mm	Passo delle staffe
VERIFICA DELL'ARMATURA A TAGLIO			
$\alpha$	90	°	Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento
$\theta$	22	°	Inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse dell'elemento
$\alpha_c$	1.0		Coefficiente maggiorativo da normativa
$V_{Rsd}$	716	kN	Resistenza a "taglio trazione"
$V_{Rcd}$	3357	kN	Resistenza a "taglio compressione"
$V_{Rd}$	716	kN	<b>ok</b> $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

Figura 11.12: Verifica a taglio piedritti

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

84 di 91

## 11.4 Solaio di fondazione

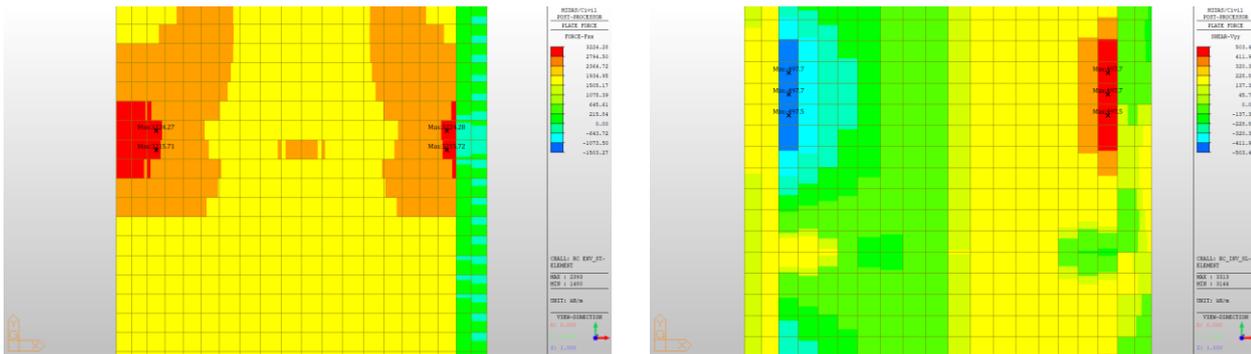


Figura 11.13: Sollecitazioni di calcolo solaio fondazione

$$M_{\max,SLU} = 3224.28 \text{ kNm/m} ; V_{\max,SLU} = 500 \text{ kN/m}$$

L'armatura inserita consiste in:

- i. Inferiormente: 10  $\phi$ 24;
- ii. Superiormente: 10  $\phi$ 24.

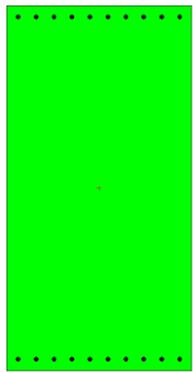


Figura 11.14: Geometria sezione e armatura solaio fondazione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	85 di 91

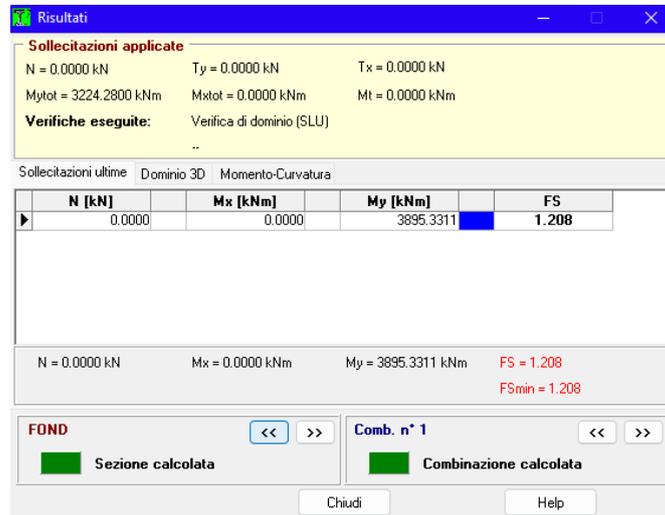


Figura 11.15: Verifica a flessione semplice solaio fondazione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	86 di 91

CARATTERISTICHE MATERIALI			
ACCIAIO			
$f_y$	450	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio
$f_{yd}$	391.30	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio
CLS			
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ctd}$	1.47	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a trazione del cls
$f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del cls
$f'_{cd}$	9.41	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
SOLLECITAZIONI			
$V_{Ed}$	500	kN	Taglio di calcolo allo stato limite ultimo
DATI SEZIONE RESISTENTE			
$b_w$	1000	mm	Larghezza della membratura resistente al taglio
$H$	2000	mm	Altezza totale della sezione
$c$	50	mm	Copriferro
$d$	1950	mm	Altezza utile della sezione
DATI ARMATURA			
Staffe	12	mm	Diametro staffe
$A_{sw}$	113	mm <sup>2</sup>	Area delle staffe
$n_b$	2.5		Numero delle braccia
$s$	800	mm	Passo delle staffe
VERIFICA DELL'ARMATURA A TAGLIO			
$\alpha$	90	°	Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento
$\theta$	22	°	Inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse dell'elemento
$\alpha_c$	1.0		Coefficiente maggiorativo da normativa
$V_{Rsd}$	607	kN	Resistenza a "taglio trazione"
$V_{Rcd}$	5692	kN	Resistenza a "taglio compressione"
$V_{Rd}$	607	kN	<b>ok</b> $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

Figura 11.16: Verifica a taglio solaio fondazione

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	87 di 91

## 12. VERIFICHE SLE

Si riportano le verifiche allo stato limite d'esercizio degli elementi strutturali analizzati precedentemente. Nello specifico si controlla lo stato limite di tensione essendo comunque una fase di fattibilità del progetto. Successive integrazioni saranno necessarie nella fase successiva.

### 12.1 Solai di copertura

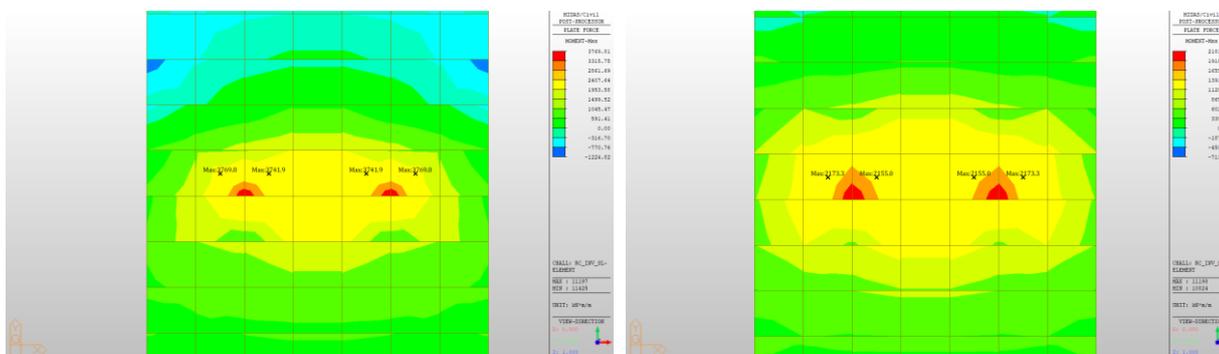


Figura 12.1: Sollecitazioni di calcolo SLE solaio copertura

$$M_{\max, \text{SLE-Rara}} = 3769.8 \text{ kNm/m} ; M_{\max, \text{SLE-Quasi permanente}} = 2181.4 \text{ kNm/m}$$

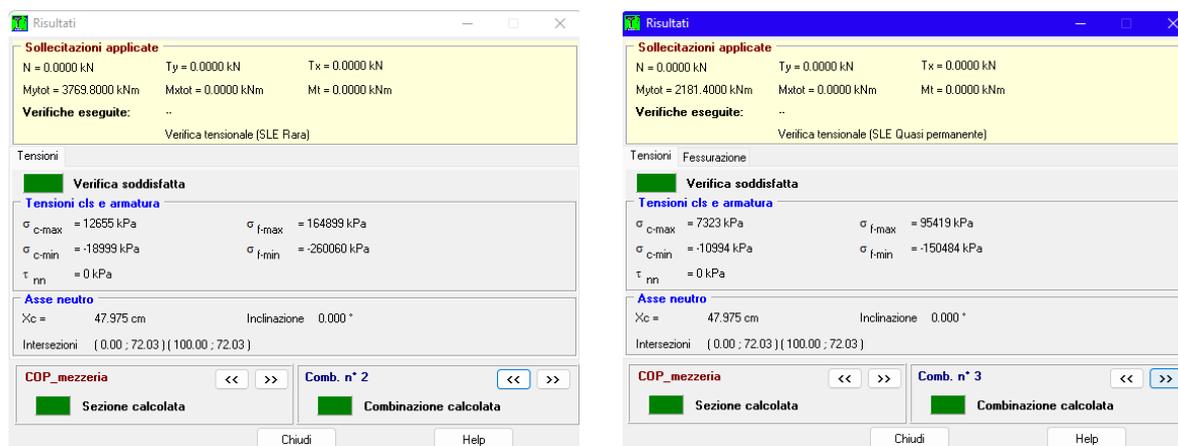


Figura 12.2: Verifiche SLE solaio copertura

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	88 di 91

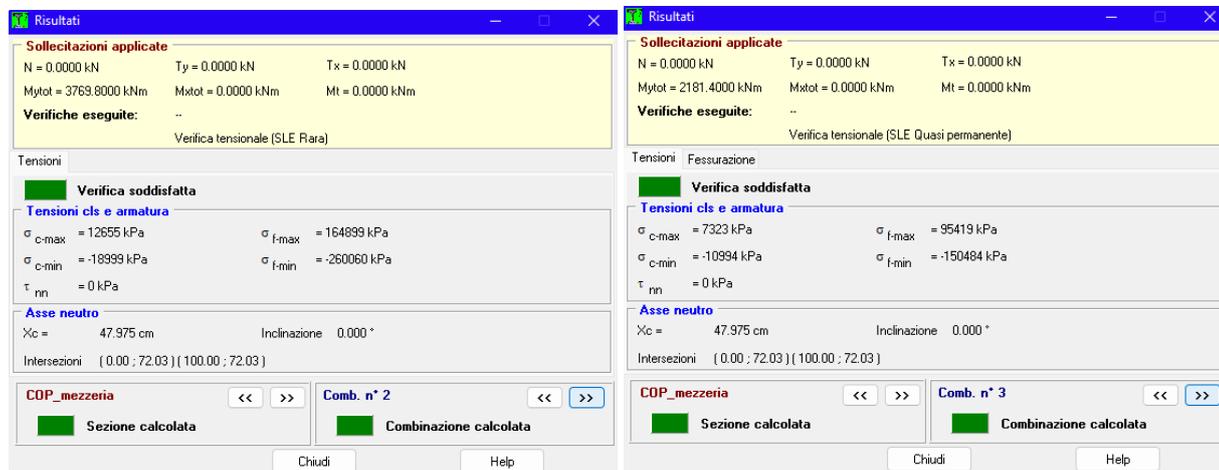
## 12.2 Solaio intermedio

G <sub>1</sub>	7.5	kN/m
G <sub>2</sub>	2.5	kN/m
Q	5	kN/m
L	15	m
p	15	kN/m
M <sub>ED</sub>	<b>281.25</b>	kNm/m
V <sub>ED</sub>	<b>112.5</b>	kNm/m

G <sub>1</sub>	7.5	kN/m
G <sub>2</sub>	2.5	kN/m
Q	5	kN/m
L	15	m
p	13	kN/m
M <sub>ED</sub>	<b>243.75</b>	kNm/m
V <sub>ED</sub>	<b>97.5</b>	kNm/m

Figura 12.3: Sollecitazioni di calcolo SLE solaio intermedio

$$M_{\max, \text{SLE-Rara}} = 281.25 \text{ kNm/m} ; M_{\max, \text{SLE-Quasi permanente}} = 243.75 \text{ kNm/m}$$



**Risultati**

**Sollecitazioni applicate**  
 N = 0.0000 kN    Ty = 0.0000 kN    Tx = 0.0000 kN  
 Mytot = 3763.8000 kNm    Mxtot = 0.0000 kNm    Mt = 0.0000 kNm

**Verifiche eseguite:** --  
 Verifica tensionale (SLE Rara)

**Tensioni**

**Verifica soddisfatta**

**Tensioni cls e armatura**

σ<sub>c-max</sub> = 12655 kPa    σ<sub>f-max</sub> = 164899 kPa  
 σ<sub>c-min</sub> = -18999 kPa    σ<sub>f-min</sub> = -260060 kPa  
 τ<sub>nn</sub> = 0 kPa

**Asse neutro**  
 Xc = 47.975 cm    Inclinazione 0.000 °  
 Intersezioni ( 0.00 ; 72.03 ) ( 100.00 ; 72.03 )

**COP\_mezzeria**    Comb. n° 2

Sezione calcolata    Combinazione calcolata

Chiudi    Help

---

**Risultati**

**Sollecitazioni applicate**  
 N = 0.0000 kN    Ty = 0.0000 kN    Tx = 0.0000 kN  
 Mytot = 2181.4000 kNm    Mxtot = 0.0000 kNm    Mt = 0.0000 kNm

**Verifiche eseguite:** --  
 Verifica tensionale (SLE Quasi permanente)

**Tensioni**    Fessurazione

**Verifica soddisfatta**

**Tensioni cls e armatura**

σ<sub>c-max</sub> = 7323 kPa    σ<sub>f-max</sub> = 95419 kPa  
 σ<sub>c-min</sub> = -10934 kPa    σ<sub>f-min</sub> = -150484 kPa  
 τ<sub>nn</sub> = 0 kPa

**Asse neutro**  
 Xc = 47.975 cm    Inclinazione 0.000 °  
 Intersezioni ( 0.00 ; 72.03 ) ( 100.00 ; 72.03 )

**COP\_mezzeria**    Comb. n° 3

Sezione calcolata    Combinazione calcolata

Chiudi    Help

Figura 12.4: Verifiche SLE solaio intermedio

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA

RS60

LOTTO

00

CODIFICA

R14\_RH

DOCUMENTO

FV01 0001

REV.

C

FOGLIO

89 di 91

### 12.3 Piedritti

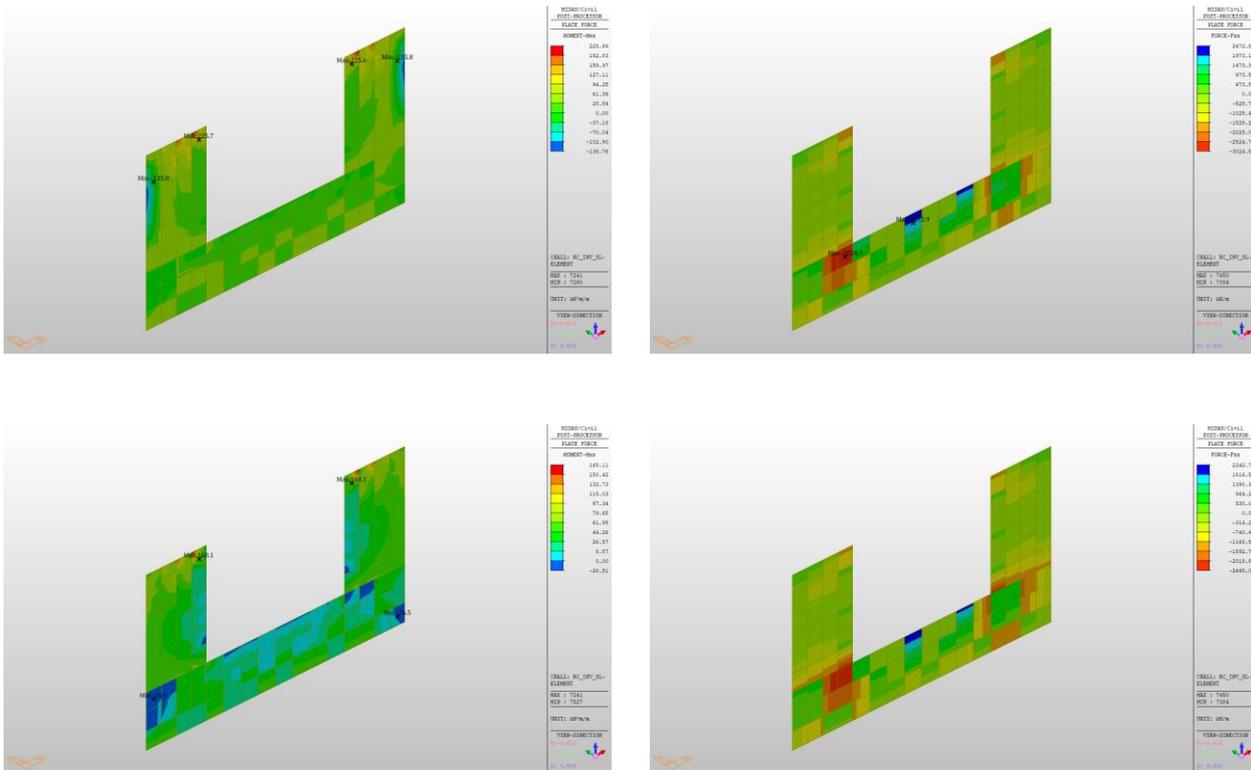


Figura 12.5: Sollecitazioni di calcolo SLE piedritti

$$M_{\max, \text{SLE-Rara}} = 225.69 \text{ kNm/m} ; F_{\min, \text{SLE-Rara}} = 525 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\max, \text{SLE-Quasipermanente}} = 168.11 \text{ kNm/m} ; F_{\min, \text{SLE-Quasipermanente}} = 314.24 \text{ kNm/m}$$

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	90 di 91

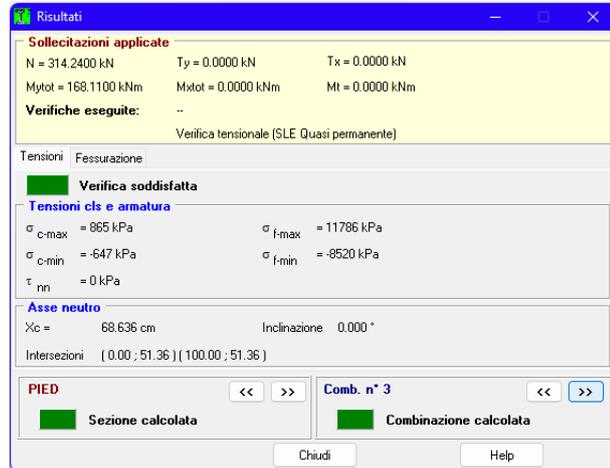
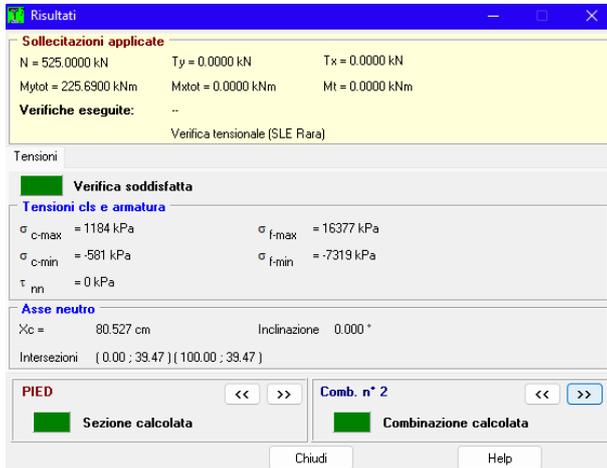


Figura 12.6: Verifiche SLE piedritti

## 12.4 Solai di fondazione

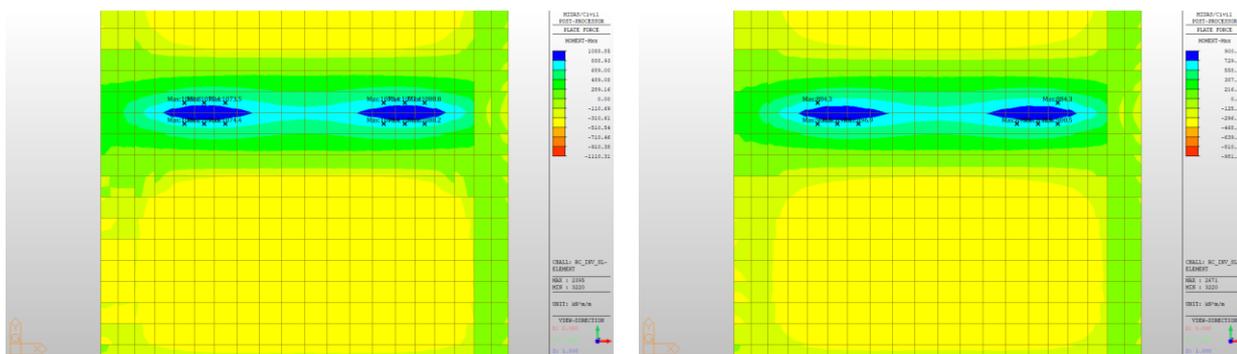


Figura 12.7: Sollecitazioni di calcolo SLE solaio fondazione

$$M_{\text{max,SLE-Rara}} = 1088.85 \text{ kNm/m} ; M_{\text{max,SLE-Quasipermanente}} = 900.48 \text{ kNm/m}$$

STRUTTURE

FV01 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R14_RH	FV01 0001	C	91 di 91

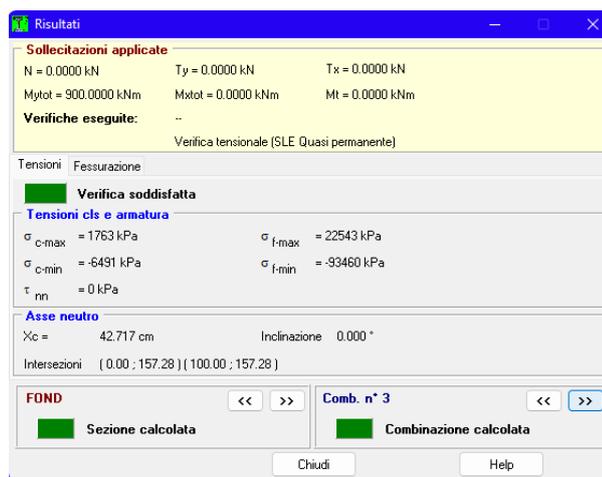


Figura 12.8: Verifiche SLE solaio fondazione

### 13. SCARICHI IN FONDAZIONE

Per dimensionare la fondazione si riportano gli scarichi in fondazione per i diversi stati limite considerati nell'analisi. Si è fatto riferimento sia all'opera SL01 che FV01 data la similitudine delle opere nella forma e si è scelto quelle più gravose in vista anche di una facilità di costruzione scegliendo la stessa tecnologia il più possibile:

Scarichi SLE - GA01/SL01			
	$U_{media}$	$K_{winkler}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]
SLE-Rara	0.017	10000	170
SLE-QP	0.016	10000	160

Scarichi SLV - GA01/SL01			
	$U_{media}$	$K_{winkler}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]
SLV - EL	0.03	10000	300
SLV - Scat			360

Sollecitazioni baricentro fondazione					
	$F_x$ [kN]	$F_y$ [kN]	$N$ [kN]	$M_x$ [kN]	$M_y$ [kN]
SLE-Rara	0	0	363613.6	-1273322	21612.87
SLE-QP	0	0	350934.1	-713061	13832.24
SLV	124309.3	-38426.1	334796.5	-76312.8	457663.7
SLU	0	0	504617.1	-1846318	31338.66

Figura 13.1: Scarichi in fondazione