

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA NUOVA ENNA – DITTAINO (LOTTO 4b)

FABBRICATI DI STAZIONE

FV01 - Stazione di Enna

Relazione di calcolo 1/2

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 CL FV0100 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	M.Piscitelli	Gennaio 2020	P. Di Nucci	Gennaio 2020	F.Sparacino	Gennaio 2020	F. Arduini Febbraio 2020
B	EMISSIONE ESECUTIVA	M.Piscitelli	Febbraio 2020	P. Di Nucci	Febbraio 2020	F.Sparacino	Febbraio 2020	Ing. Fabrizio Arduini n. 15392 del 4/2/2020
								ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro

File: RS3V40D29CLFV0100001B

n. Elab. 573

INDICE

1	PREMESSA.....	6
1.1	UNITÀ DI MISURA.....	6
2	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	7
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
4	MATERIALI.....	10
4.1	CALCESTRUZZO OPERE FONDAZIONI.....	10
4.2	CALCESTRUZZO OPERE ELEVAZIONE.....	11
4.3	ACCIAIO B450C.....	11
4.4	CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI.....	12
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	14
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	15
6.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	15
6.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	15
6.3	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	17
6.4	SPETTRI DI PROGETTO.....	19
7	MODELLO DI CALCOLO.....	21
7.1	GENERALITÀ.....	21
7.1.1	<i>Grado di affidabilità del codice.....</i>	<i>21</i>
7.1.2	<i>Valutazione della correttezza del modello.....</i>	<i>21</i>
7.1.3	<i>Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli.....</i>	<i>21</i>
7.2	DESCRIZIONE MODELLO DI CALCOLO.....	22

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

8	ANALISI DEI CARICHI.....	23
8.1	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA E CARICHI PERMANENTI PORTATI	23
8.2	CARICO ACCIDENTALE DA TRAFFICO FERROVIARIO	24
8.2.1	<i>Treno di carico LM71</i>	24
8.2.2	<i>Verifica requisiti S.T.I. per opere minori sottobinario: Carico equivalente.....</i>	26
8.2.3	<i>Binari carichi e contemporaneità dei treni di carico.....</i>	28
8.3	FRENATURA E AVVIAMENTO	29
8.4	RITIRO	30
8.5	AZIONI TERMICHE	31
8.6	SERPEGGIO.....	31
8.7	AZIONI SISMICHE	32
8.7.1	<i>Analisi dinamica lineare.....</i>	32
8.7.2	<i>Risposta modale.....</i>	33
8.8	COMBINAZIONI DI CARICO	35
8.8.1	<i>Coefficienti parziali e di combinazione.....</i>	36
9	VERIFICHE.....	38
9.1	VERIFICA AGLI SLU: PRESSOFLESSIONE E TAGLIO	38
9.1.1	<i>Verifica a pressoflessione</i>	38
9.1.2	<i>Verifica a taglio.....</i>	39
9.2	VERIFICA AGLI SLE: LIMITAZIONE DELLE TENSIONI E FESSURAZIONE.....	40
9.2.1	<i>Verifica di fessurazione.....</i>	40
9.2.2	<i>Verifica delle tensioni di esercizio.....</i>	40

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

10	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI.....	41
10.1	SOLLECITAZIONI ENV_SLU-SLV	41
10.1.1	<i>Soletta superiore</i>	41
10.1.2	<i>Setti verticali</i>	44
10.2	SOLLECITAZIONI ENV_SLE	47
10.2.1	<i>Soletta superiore</i>	47
10.2.2	<i>Setti verticali</i>	49
11	SIMBOLOGIA MIDAS CIVIL	52
12	VERIFICHE DI RESISTENZA SLU/SLV.....	54
12.1	VERIFICHE SOLETTONE SUPERIORE	54
12.2	VERIFICHE PARETI VERTICALI.....	59
12.2.1	<i>3Setti spessore 1.0 m</i>	59
12.2.2	<i>Setti spessore 0.7 m</i>	62
13	VERIFICHE ALLO SLE	65
13.1	VERIFICHE SOLETTONE SUPERIORE	65
13.2	VERIFICHE PARETI VERTICALI.....	66
13.2.1	<i>Setti spessore 1.0 m</i>	66
13.2.2	<i>Setti spessore 0.70 m</i>	68
14	ANALISI E VERIFICHE FONDAZIONE.....	70
14.1	MODELLO DI CALCOLO.....	70
14.2	SOLLECITAZIONI ENV_SLU-SLV	71
14.3	SOLLECITAZIONI ENV_SLE	73

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

14.4	RIEPILOGO SOLLECITAZIONI.....	75
14.5	VERIFICHE STRUTTURALI	76
14.5.1	<i>Verifiche allo SLU</i>	76
14.5.2	<i>Verifiche allo SLE</i>	80
14.5.3	<i>Riepilogo incidenze</i>	80
14.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	80

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano i dimensionamenti e le verifiche di resistenza secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.) della stazione di Enna nell'ambito del Progetto Definitivo lotto 4b della tratta denominata nuova Enna - Dittaino relativa al Nuovo Collegamento ferroviario Palermo – Catania.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all'opera.

1.1 Unità di misura

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi
- angoli: gradi sessadecimali o radianti
- si assume l'uguaglianza $1 \text{ kN} = 100 \text{ kg}$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO					
	FV01 - stazione di Enna					
RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B	FOGLIO 7 di 80

2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La stazione di Enna è un'opera in c.a. a servizio della linea ferroviaria Palermo-Catania di notevoli dimensioni. Essa è costituita da vari corpi giuntati tra loro al fine di garantire una certa uniformità strutturale e limitare le azioni termiche e da ritiro in soletta che per opere di queste dimensioni e rigidezza risultano essere significative ai fini del dimensionamento.

In particolare all'interno della stazione troviamo: il fabbricato viaggiatori con annessi vani scala e ascensori che consentono l'ingresso-uscita dei passeggeri ai binari di stazione, e l'area parcheggio.

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento strutturale dell'area parcheggio con particolare riferimento al blocco 1 riportato nell'immagine seguente:

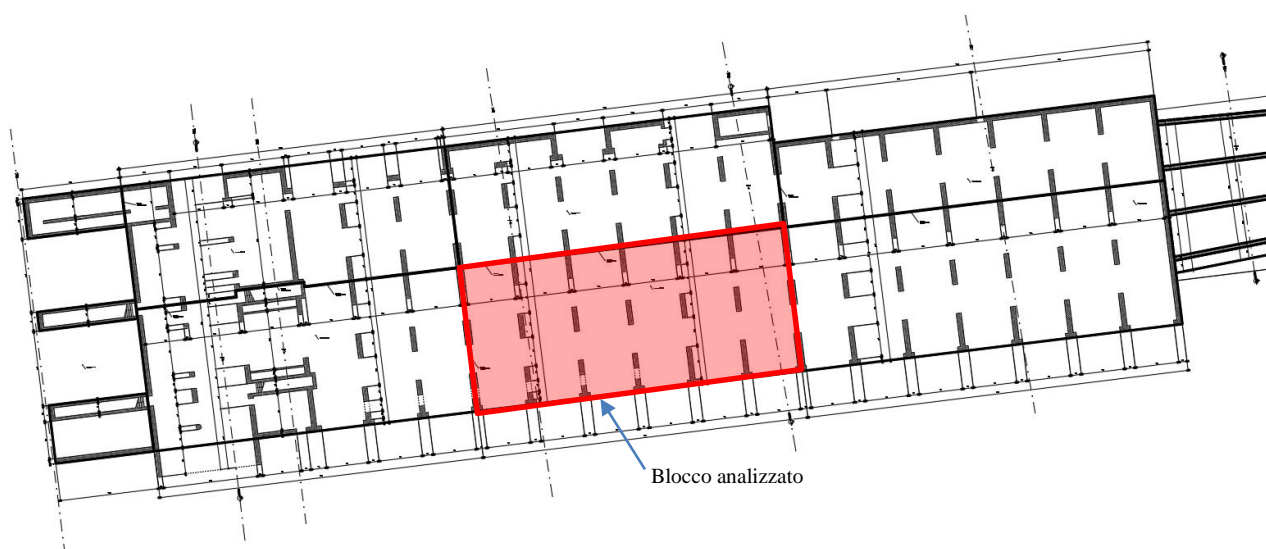


Figura 1 - Inquadramento Planimetrico

Il blocco di stazione analizzato presenta una maglia regolare costituita da setti in c.a. ad interasse longitudinale di 11.20m e interasse trasversale di 10.0 - 11.0m con soletta superiore e inferiore di 1.0m di spessore. Lo spessore dei setti è di 70 cm per i setti perimetrali e 1,0m per i restanti setti ed hanno una altezza netta interna di 4,70m.

Al di sopra della porzione di soletta analizzata sono presenti 3 binari di carico con annessa banchina e pensilina di stazione.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO					
	FV01 - stazione di Enna					
RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B	FOGLIO 8 di 80

Di seguito si riportano alcune sezioni rappresentative dell'opera:

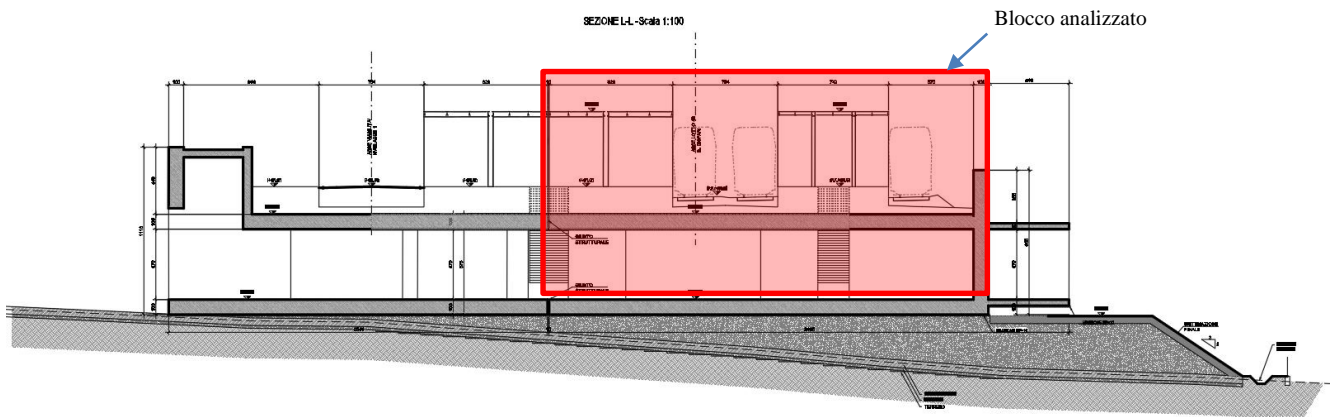


Figura 2 – Sezione trasversale L-L

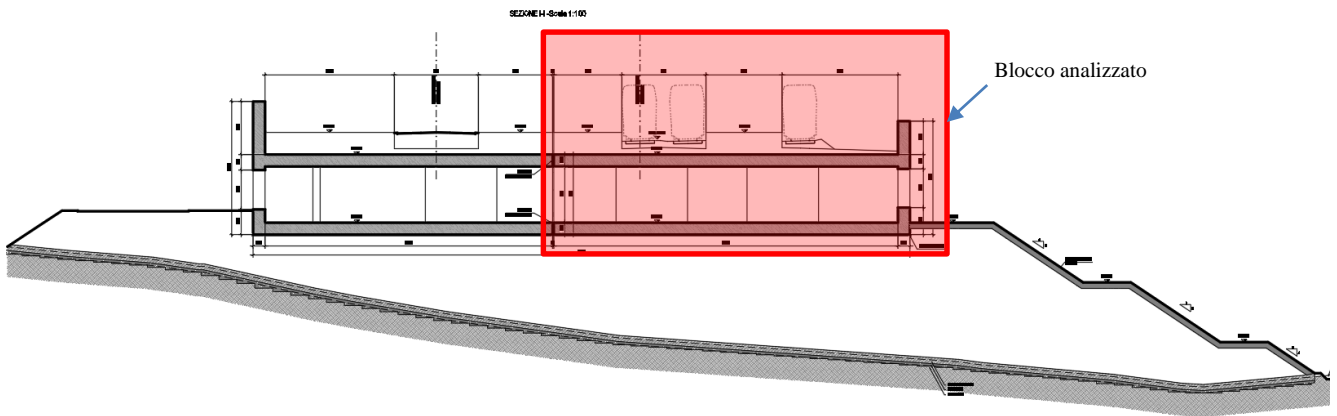


Figura 3 – Sezione trasversale I-I

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

In particolare la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018;
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B del 2018 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 B del 2018 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;
- UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-2:2007: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;
- STI 2014 –Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo opere fondazioni

Per le strutture in fondazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

- Classe d'esposizione: XC2
- **C30/37**: $f_{ck} \geq 30$ MPa $R_{ck} \geq 37$ MPa
- Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	37	N/mm^2
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	30.71	N/mm^2
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	38.71	N/mm^2
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2.94	N/mm^2
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3.53	N/mm^2
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	33019	N/mm^2
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	2.06	N/mm^2
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3.82	N/mm^2
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1.5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	17.4	N/mm^2
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1.37	N/mm^2
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1.0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	30.7	N/mm^2
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	2.06	N/mm^2
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	18.43	N/mm^2
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	13.82	N/mm^2

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

4.2 Calcestruzzo opere elevazione

Per le strutture in elevazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

- Classe d'esposizione: XC4
- **C32/40**: $f_{ck} \geq 32$ MPa $R_{ck} \geq 40$ MPa
- Classe minima di consistenza: S5

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg:		$R_{ck} =$	40	MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica a 28 gg:	$(0,83 \cdot R_{ck})$	$f_{ck} =$	33.2	MPa
Resistenza a compressione cilindrica media:	$(f_{ck} + 8)$	$f_{cm} =$	41.2	MPa
Valore medio resistenza a trazione assiale:		$f_{ctm} =$	3.10	MPa
Valore caratteristico frattile 5% resistenza a trazione assiale:		$f_{ctk,0,05} =$	2.17	MPa
Valore medio resistenza a trazione per flessione:		$f_{ctfm} =$	3.7	MPa
Valore caratteristico frattile 5% resistenza a trazione per flessione		$f_{ctfk,0,05} =$	2.6	MPa
**Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:		$\gamma_c =$	1.5	[-]
Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:	$(0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c)$	$f_{cd} =$	18.8	MPa
Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:	$(f_{ctk,0,05} / \gamma_s)$	$f_{ctd} =$	1.45	MPa
*Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:	$(1,2 \cdot f_{ctd})$	$f_{ctd\ f} =$	1.74	MPa
Modulo di elasticità secante:		$E_{cm} =$	33643	MPa
Modulo di Poisson:		$\nu =$	0-0,2	[-]
Coefficiente di dilatazione lineare		$\alpha =$	0.00001	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
*Tensione massima ammissibile nella comb. Quasi Permanente	$\sigma_{cmax\ QP} =$	$(0,45 f_{ck}) =$	14.94	MPa
*Tensione massima ammissibile nella comb. Caratteristica -Rara	$\sigma_{cmax\ R} =$	$(0,60 f_{ck}) =$	19.92	MPa

4.3 Acciaio B450C

- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450$ MPa;
- Tensione di progetto: $f_{yk} = 450$ MPa;
- Tensione di progetto: $f_{yk} = f_{yd} / \gamma_m$

in cui $\gamma_m = 1.15$

$$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa};$$

- Modulo Elastico $E_s = 210'000$ MPa.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

4.4 Classi di esposizione e copriferri

Con riferimento alle specifiche di cui alla norma UNI EN 206-1-2006, si definiscono di seguito le classi di esposizione del calcestruzzo delle diverse parti della struttura oggetto dei dimensionamenti di cui al presente documento:

- Elementi in elevazione: XC4;
- fondazione: XC2;

Classe esposizione norma UNI 9858	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 (%)
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco						
1	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/di 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	
2 Corrosione indotta da carbonatazione <small>Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi su può considerare che tali condizioni riflettono 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.</small>						
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 alternanze 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	
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare						
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 9858	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 (%)
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare						
4 a 5 b	XS1	Esposto alla salsedine marina 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	
5 Attacco dei cicli di gelo/di disgelo con o senza disgelanti *						
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
6 Attacco chimico**						
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	
<small>*) 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 fluenti.</small>						

Classi di esposizione secondo norma UNI – EN 206-2006

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

La determinazione delle classi di resistenza dei conglomerati dei conglomerati, di cui ai successivi paragrafi, sono state inoltre determinate tenendo conto delle classi minime stabilite dalla stessa norma UNI-EN 206-2006, di cui alla successiva tabella:

	Classi di esposizione																		
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione da carbonatazione					Corrosione da cloruri						Attacco gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
							Acqua marina			Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare)									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Rapporto massimo a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	-	-	-	
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati ^{b)}			
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.																		
b)	Qualora la presenza di SO ₂ comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.																		

Classi di resistenza minima del calcestruzzo secondo UNI – EN 206-2006

I copriferri di progetto adottati per le barre di armatura, tengono infine conto inoltre delle prescrizioni di cui alla Tabella C4.1.IV della Circolare del 21-01-19; si è in particolare previsto di adottare i seguenti Copriferri minimi espressi in mm

- Elementi in elevazione: 50 mm
- Piastra di fondazione: 40 mm

In termini di limiti di apertura delle fessure, alle prescrizioni normative presenti nelle NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal documento RFI DTC SICS MA IFS 001 B – 2.5.1.8.3.2.4 (*Manuale di progettazione delle opere civili*) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

L'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

- $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$ per tutte le strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive (così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008), per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie.

In definitiva, nel caso in esame, si adotta il limite w_1 per i solettoni superiore ed inferiore in quanto elementi a permanente contatto con il terreno o classe di esposizione aggressiva XC4. Per i setti si adotta invece il limite w_2 in quanto si considerano condizioni di esposizione ordinarie.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per l'opera si prevede un intervento di consolidamento del rilevato ferroviario costituito da Colonne di consolidamento CFA in c.a. Ø800mm di lunghezza 18.0 m, disposti a maglia quadrata 3.0 m x 3.0 m, con armatura minima (8 Ø20, staffe Ø10 / 10 cm). Pertanto, in fase di analisi si adottano le seguenti caratteristiche del terreno interagenti con l'opera:

Unità: Rilevato ferroviario consolidato

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume naturale
$\varphi' = 30^\circ$	Angolo di resistenza al taglio
$c' = 10 \text{ kPa}$	Coesione drenata
$k_w = 1000 - 2000 \text{ kN/m}^3$	Rigidezza molle alla winkler

In fase di analisi si è assunto $k_w = 2000 \text{ kN/m}^3$.

Si rimanda alla relazione geotecnica generale per la trattazione completa dei parametri geologico e geotecnici, delle unità geotecniche interessate dall'opera.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018.

6.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale (V_N), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso (C_U)

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale: $V_N = 75$ anni (categoria 2: "Altre opere nuove a velocità $V < 250$ Km/h"). Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II): $C_U = 1.5$.

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$ anni

6.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica / V_R) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo **C**

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 17.01.18, si ottiene per il sito in esame:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

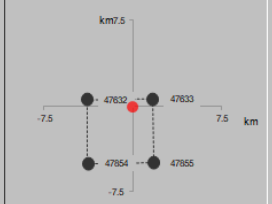
 LONGITUDINE:
 LATITUDINE:


Ricerca per comune

 REGIONE:
 PROVINCIA:
 COMUNE:

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito


Reticolo di riferimento


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

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT 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, a "Ricerca per coordinate".

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera:

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

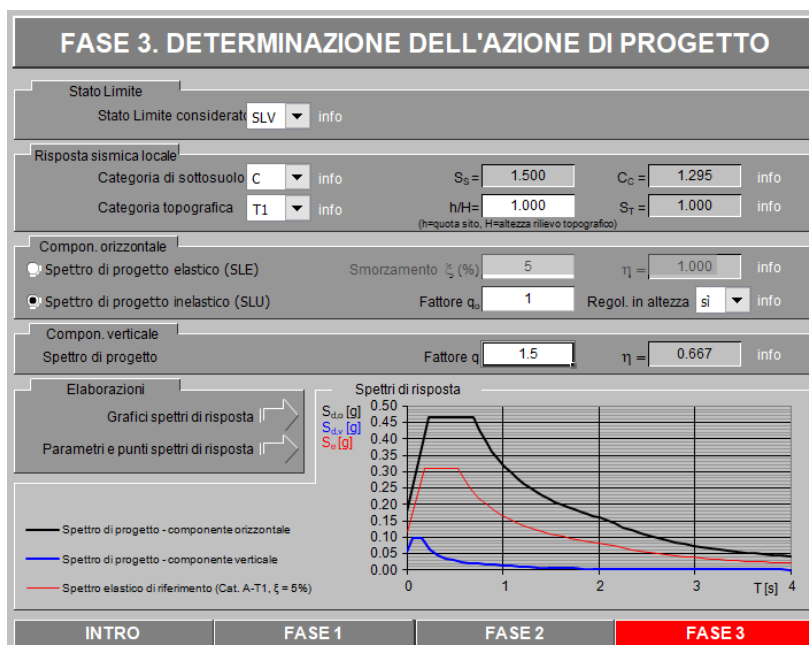
Elaborazioni
 Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione


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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.



6.3 Analisi di risposta sismica locale

La caratterizzazione sismica del sito è stata approfondita mediante un'analisi di risposta sismica locale che ha condotto alla definizione dello spettro normalizzato di progetto, ottenuto a seguito di un processo di regolarizzazione dello spettro di risposta, risultato di simulazioni numeriche eseguite con il software Plaxis (2018.01), da cui:

ag,max [g]	0.178	
F₀ [--]	5.647	
η [--]	1	
T_B [s]	0.131	
T_C [s]	0.393	
T_D [s]	2.134	
ag [g]	0.1336	da normativa

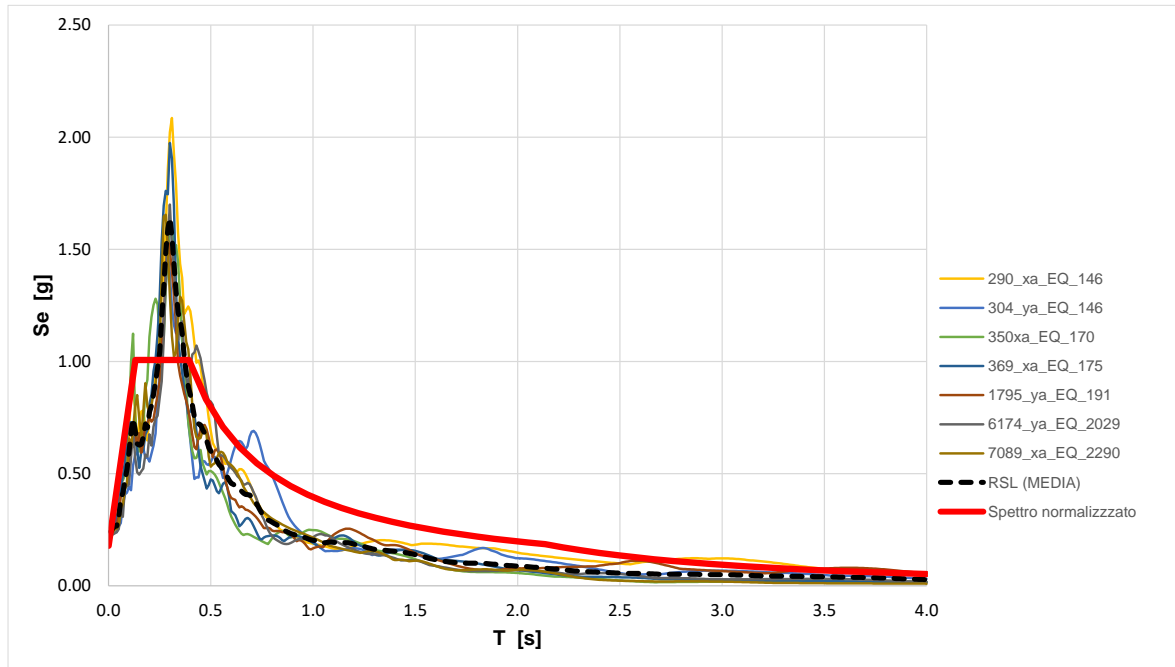


Figura 4 – Spettro normalizzato

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione sull'analisi di risposta sismica locale.

6.4 Spettri di progetto

La struttura è stata progettata adoperando un fattore di struttura pari ad $q=1,5$ per le verifiche allo SLV della parte in elevazione; per quanto riguarda la fondazione, invece, in accordo con il cap. 7.2.5 delle NTC, deve essere progettata per rimanere in campo elastico, pertanto la verifica della stessa sarà condotta utilizzando un fattore di struttura pari ad $q=1,0$.

Ne conseguono i seguenti spettri di progetto allo SLV.

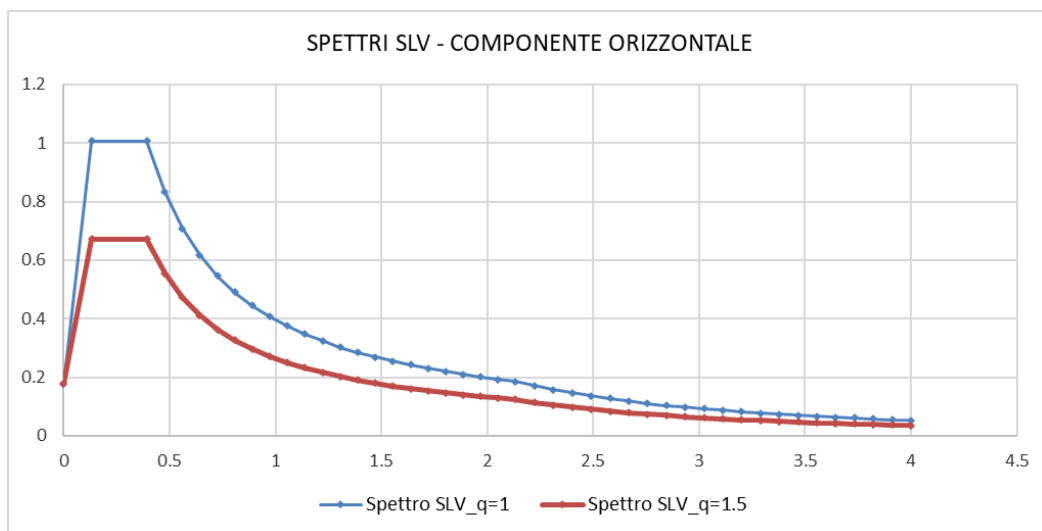


Figura 5 – Spettri SLV, componente orizzontale

ag,max [g]	0.178
F_o [--]	5.647
η [--]	1
T_B [s]	0.131
T_C [s]	0.393
T_D [s]	2.134

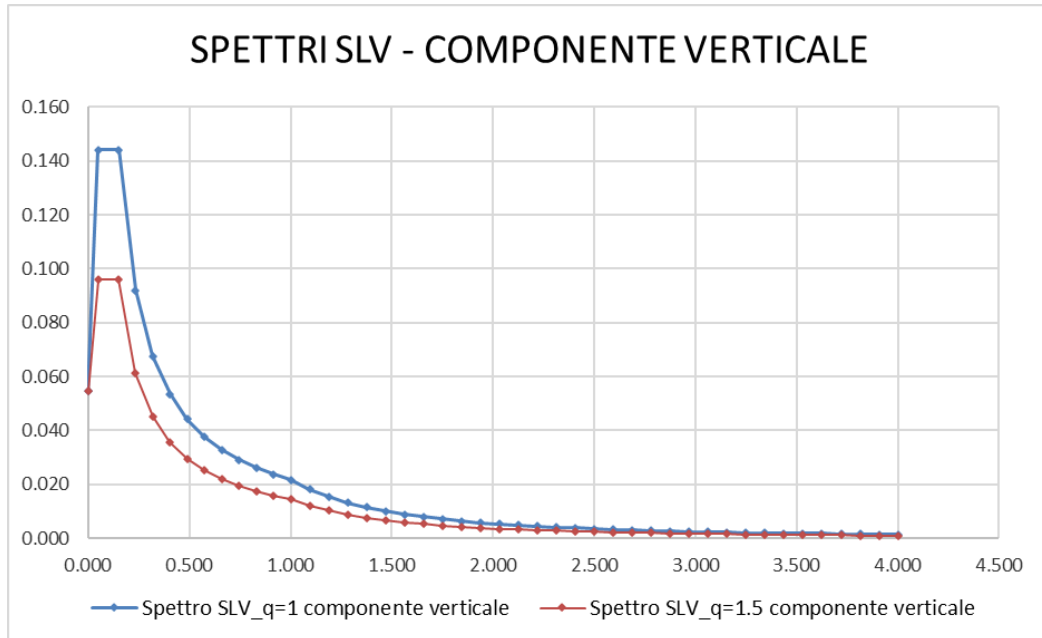


Figura 6 – Spettri SLV, componente verticale

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{zv}	0.055 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.000
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.225
S	1.000
η	1.000

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{zv}	0.055 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.225
S	1.000
η	0.667

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

7 MODELLO DI CALCOLO

7.1 Generalità

Data la conformazione geometrica, è stato realizzato un modello FEM 3D, con il programma di calcolo Midas Civil 2019 v2.2.

Il software permette l'analisi elastica lineare e non di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono frame (trave), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi sono applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una vasta serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

Tale programma fornisce in output, oltre a tutte le caratteristiche geometriche e di carico delle strutture, i risultati relativi alle sollecitazioni indotte nelle sezioni degli elementi presenti.

Per le verifiche delle sezioni si adotta il programma: "PRESFLE+ v.5.14" – Autore Concrete srl.

7.1.1 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo e' garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto. E' possibile inoltre ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura.

7.1.2 Valutazione della correttezza del modello

Il modello di calcolo adottato e' da ritenersi appropriato in quanto non sono state riscontrate labilità, le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati, la simmetria di carichi e struttura dà origine a sollecitazioni simmetriche.

7.1.3 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli

Si ritiene che i risultati ottenuti dalla elaborazione siano accettabili e che le ipotesi poste alla base della formulazione del modello matematico siano valide come dimostrato dal comportamento dei materiali.

All'interno del pacchetto Midas Civil sono inoltre presenti una serie di test per il benchmark del solutore, che consentono di comprovare l'affidabilità del codice di calcolo e paragonare risultati ottenuti con le soluzioni esatte.

7.2 Descrizione modello di calcolo

Il modello è stato realizzato utilizzando elementi shell per pareti e copertura, caratterizzati da spessore pari a quelli effettivi dei singoli elementi.

Alla base degli elementi verticali sono presenti dei vincoli tipo incastro.

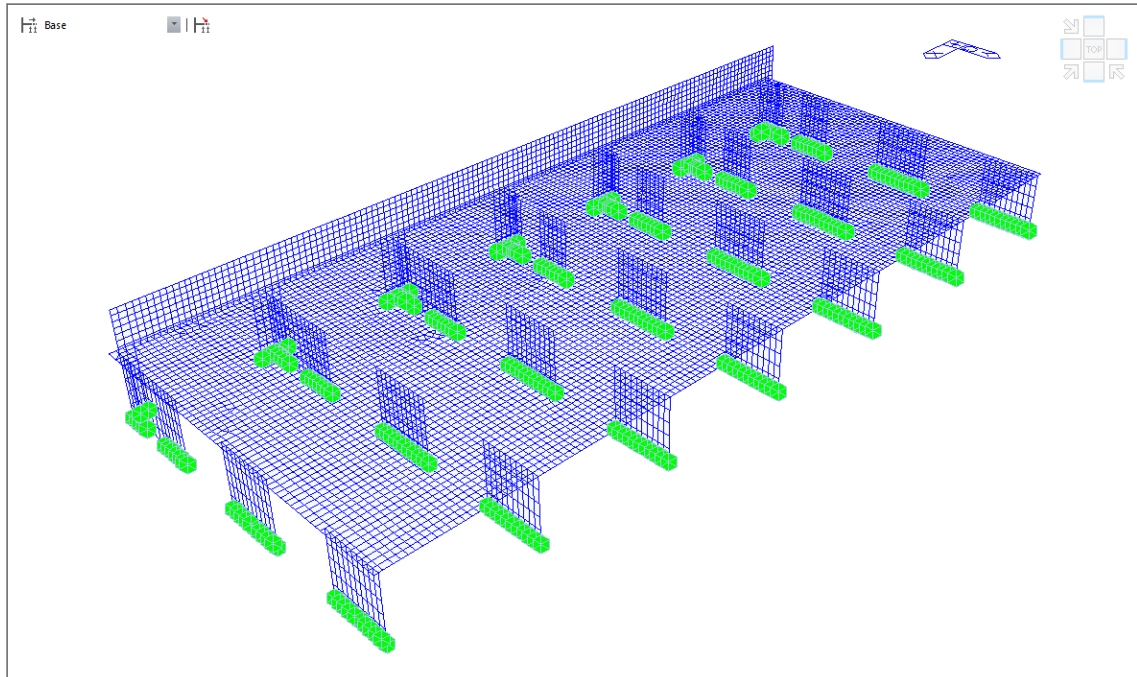


Figura 7 - Modello FEM

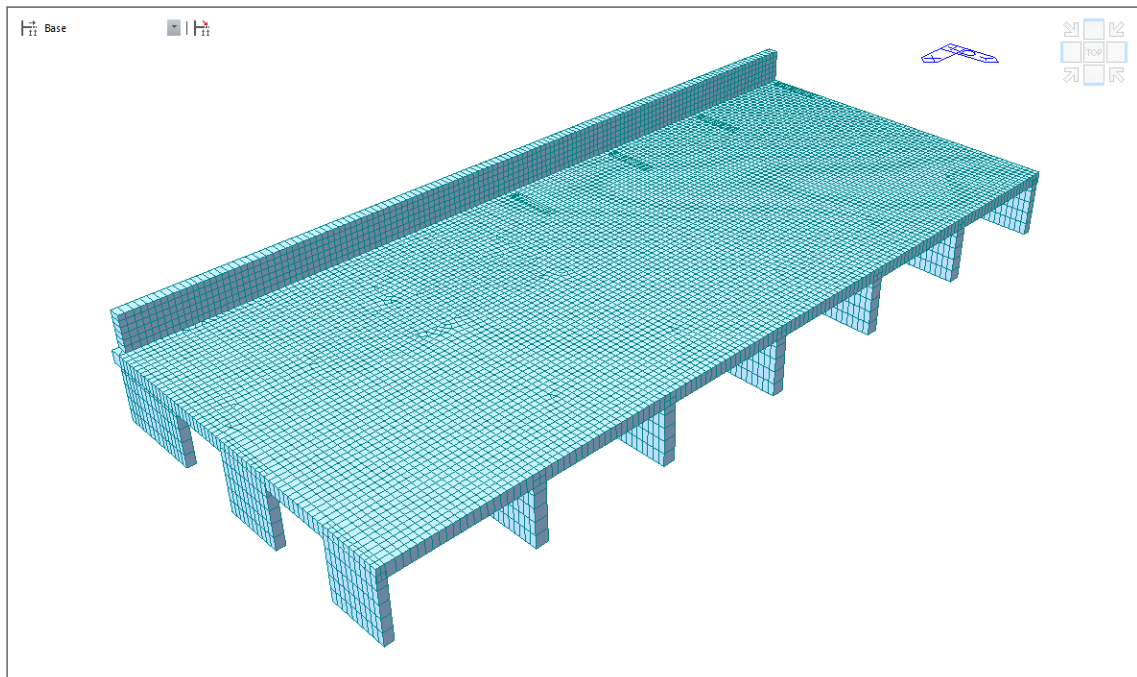


Figura 8 - Modello vista estrusa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

8 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

8.1 Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati

G1-Peso proprio elementi strutturali

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

G2b-Peso permanenti portati soletta superiore (Ballast+armamento):

Il peso del terreno di ricoprimento gravante sul solettone superiore è stato valutato nel modo seguente:

$$G_{2,b} = 0.80 \cdot 18 + (1.30 - 0.8) \cdot 24 = 26.4 \text{ kN/m}^2$$

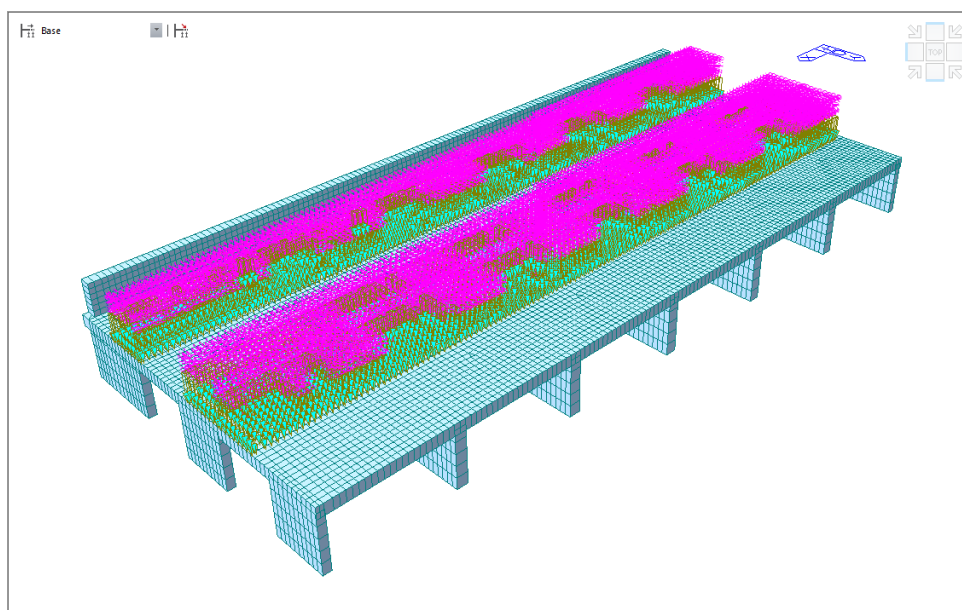


Figura 9 - Peso permanenti portati soletta superiore (G2b)

G2-Peso permanenti portati soletta superiore (Banchina):

Il peso della banchina sul solettone superiore è stato valutato a partire a un peso specifico vuoto per pieno pari a circa 1/3 del peso per unità di volume del calcestruzzo, considerando uno spessore medio pari a 1.80m:

$$G_2 = 1.80 \cdot 8.5 = 15.3 \text{ kN/m}^2$$

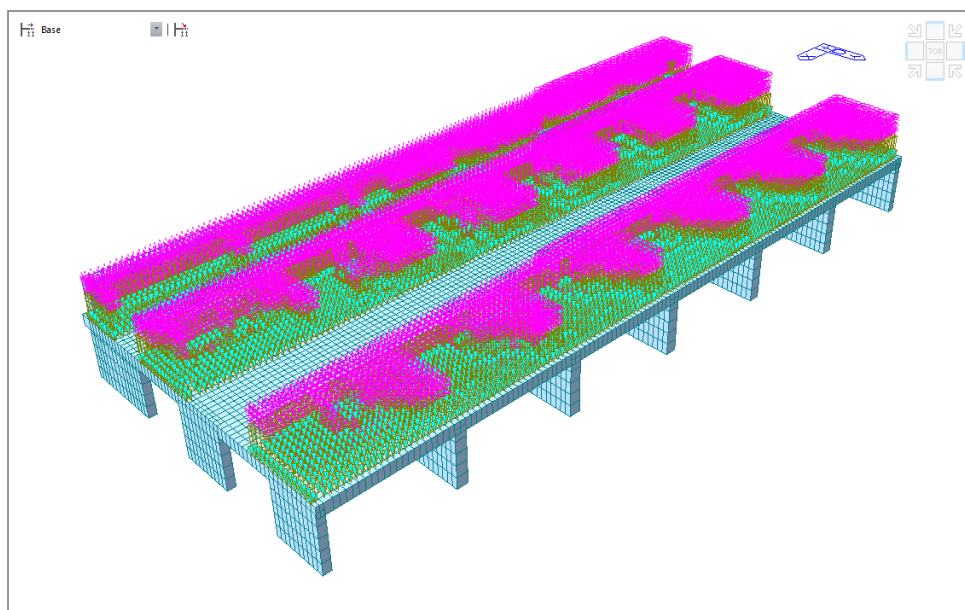


Figura 10 - Peso permanenti portati soletta superiore (G2b)

G2-Peso permanenti portati – gabbionature esterne

Per la valutazione delle masse sismiche della struttura in esame, si tiene conto del rivestimento esterno che verrà posto in opera sulle pareti esterne della struttura scatolare, costituito da gabbionate in massi di spessore pari a 0.40 m e peso per unità di volume pari a 18 kN/m³.

8.2 Carico accidentale da traffico ferroviario

8.2.1 Treno di carico LM71

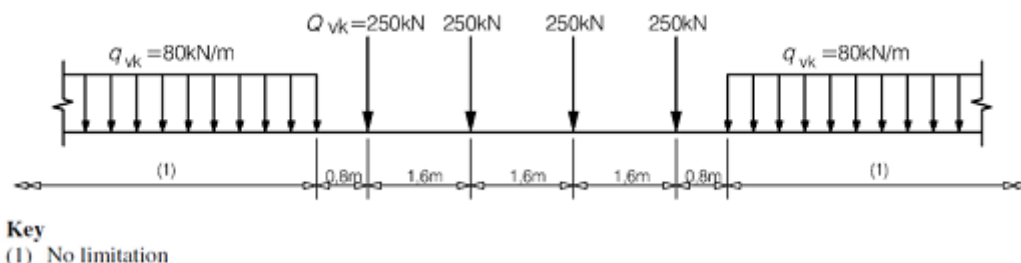


Figura 11 - Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

α = coefficiente di adattamento = 1.10

Per il calcolo del coefficiente dinamico Φ si fa riferimento al par. 2.5.1.4.2.5.2 del “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” considerando un ridotto standard manutentivo.

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi - 0,20}} + 0,73$$

Dove L_ϕ 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":

$$L_\phi = k L_m = 12.36 \text{ m}$$

Dove:

$$- L_m = 1/n (L_1 + L_2 + \dots + L_n) = 8.2 \text{ m} \quad \text{con } n=13$$

$$- k = 1.5 \text{ (caso } n > 5)$$

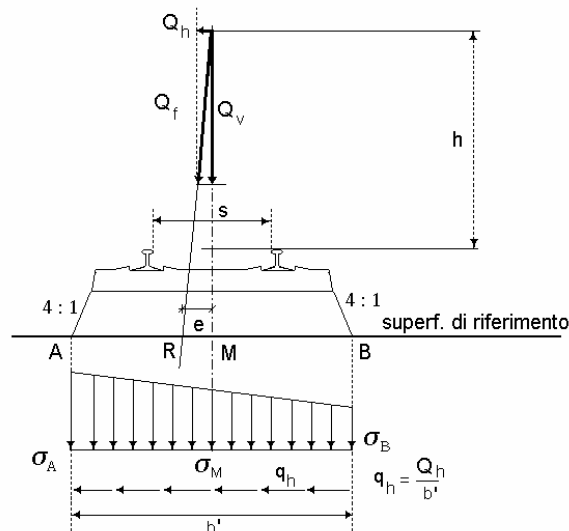
$$\text{Pertanto: } \Phi_3 = 1.38$$

Essendo inoltre lo spessore di ricoprimento $h = 1.30 \text{ m} > 1.0 \text{ m}$ si considera un coefficiente ridotto valutato nel modo seguente:

$$\phi_{(2,3),rid} = \phi_{(2,3)} - \frac{h-1,00}{10} \geq 1,00 \quad (5.2.8)$$

$$\text{In definitiva: } \Phi_{3,rid} = 1.36$$

Il sovraccarico ferroviario si distribuisce attraverso il ballast con la pendenza di 1/4 , attraverso il ricoprimento con pendenza a 38° (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:



$$L_{trasv} = 2.40 + 2 \times [h/4 + h \tan(38) + h/2] = 2.40 + 2 \times [0.8/4 + 0.4 \tan(38) + 1/2] = 4.43 \text{ m}$$

In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce sull'intero ingombro dei suoi assi, pari a $L_{long} = 6.40 \text{ m}$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

Pertanto il carico ripartito dovuto al singolo treno LM 71 risulta:

$$Q_k = 4 * 250 * 1.1 * \Phi_3 / (L_{trassv} * L_{long}) = 52.88 \text{ kPa}$$

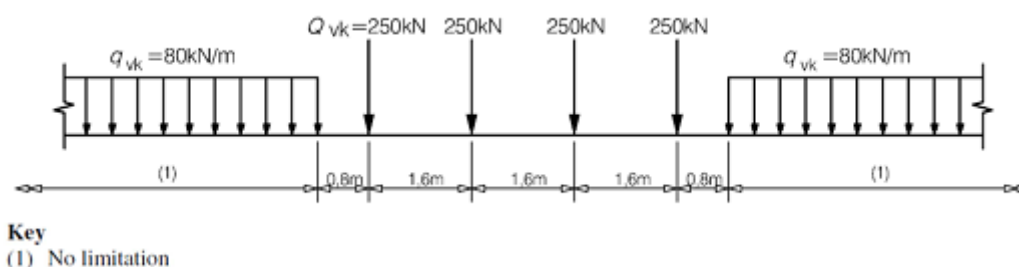
$$q_k = 80 * 1.1 * \Phi_3 / L_{trassv} = 27.08$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti.

Di seguito, si effettua la valutazione del carico equivalente previsto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità con cui si dà evidenza che le opere appartenenti alla tratta in esame sono idonee a sostenere tale carico.

8.2.2 Verifica requisiti S.T.I. per opere minori sottobinario: Carico equivalente

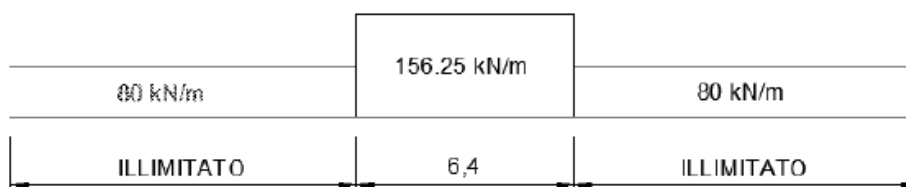
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

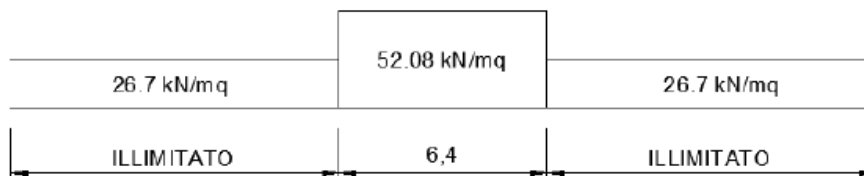
Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kPa}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B



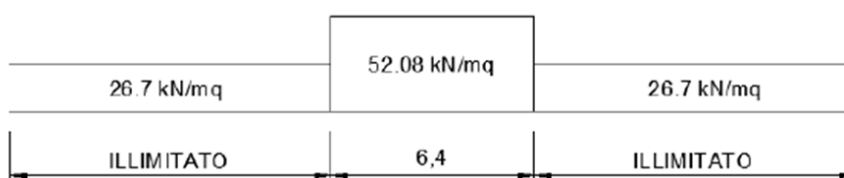
A tali carichi si deve applicare il coefficiente α relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

Tabella 11

Fattore alfa (α) per la progettazione di strutture nuove

Tipo di traffico	Valore minimo del fattore alfa (α)
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	Punto in sospenso
P1600	1,1
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	Punto in sospenso
F1600	1,1

Nel caso in esame, il coefficiente α è pari ad 1.0 perché le categorie di traffico sono P2-P4 per il traffico passeggeri ed F1 per il traffico merci per cui, alle opere si applicano i seguenti carichi equivalenti:



Il valore massimo del carico diffuso sino al baricentro della soletta superiore risulta pari ad 38.77 kN/m². Tale valore risulta minore di quello calcolato nel precedente paragrafo 52.88 kN/m².

Pertanto ai fini delle verifiche del carico equivalente si considera, a favore di sicurezza, il carico equivalente con riferimento al manuale RFI.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

8.2.3 Binari carichi e contemporaneità dei treni di carico

È stata considerata la contemporaneità dei treni di carico secondo quanto previsto nella tab. 5.2.III delle NTC2018:

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

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

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

⁽²⁾ Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Per la struttura in esame, il caso più gravoso è rappresentato dal caso "b" con numero di binari n=3 e modelli di carico LM71.

Nel seguito si riporta la configurazione di carico che massimizza gli effetti flessionali (M^+) in soletta:

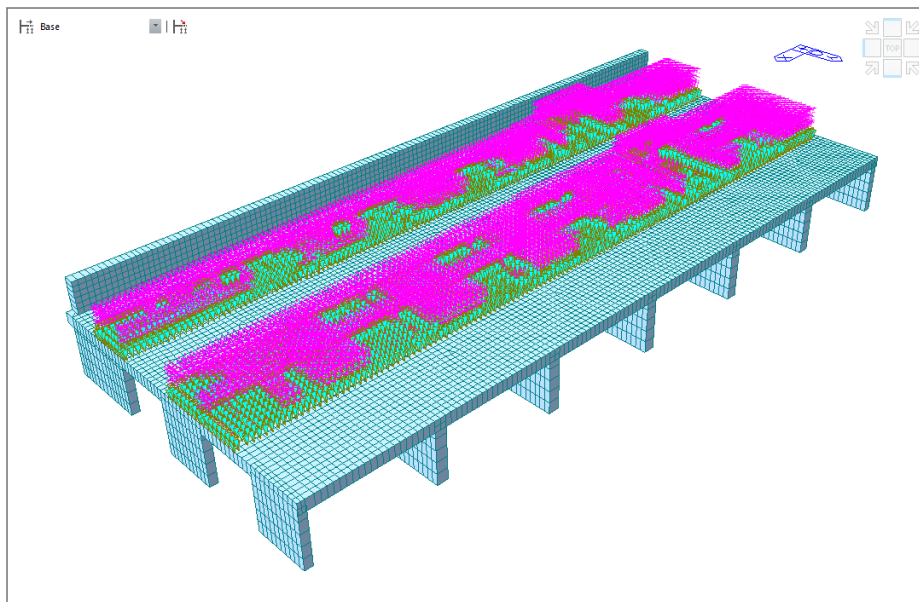
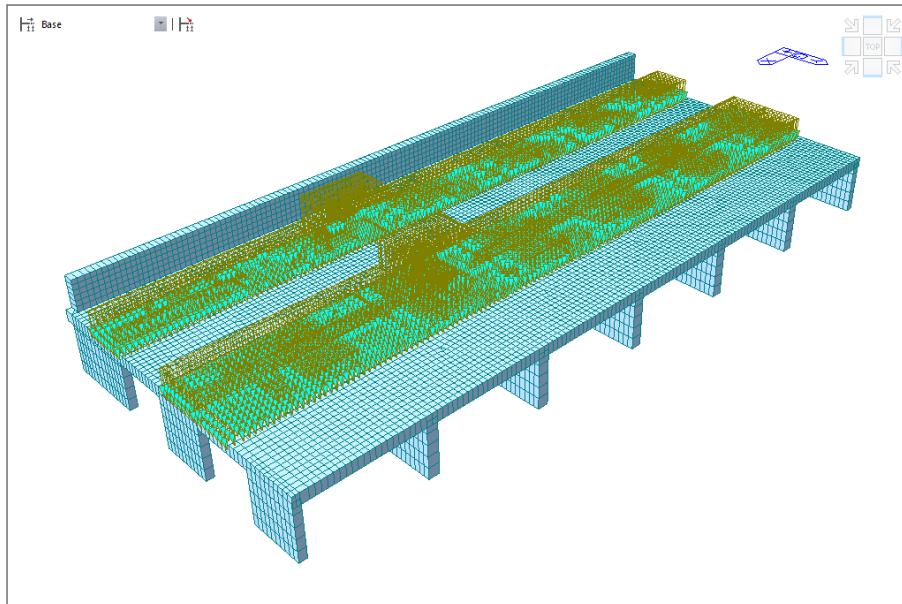


Figura 12 – Carico equivalente traffico ferroviario
(configurazione che massimizza le azioni flettenti M^+ in soletta– 3 binari carichi)

In fase di analisi è stata considerata analogamente la configurazione che massimizza T e M^- della soletta e quindi N dei setti.



**Figura 13 – Carico equivalente traffico ferroviario
(configurazione che massimizza T e M nella soletta – 3 binari carichi)**

8.3 Frenatura e avviamento

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario L determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato. I valori caratteristici da considerare, da moltiplicare per i coefficienti di adattamento α , sono:

Avviamento:

$$Q_{1a,k} = 33 \text{ [kN/m]} \times L \text{ [m]} \leq 1000 \text{ KN} \quad \text{per modelli di carico LM71, SW/0, SW/2}$$

Frenatura:

$$Q_{1b,k} = 20 \text{ [kN/m]} \times L \text{ [m]} \leq 6000 \text{ KN} \quad \text{per modelli di carico LM71, SW/0}$$

$$Q_{1b,k} = 35 \text{ [kN/m]} \times L \text{ [m]} \quad \text{per modelli di carico SW/2}$$

Nel caso in esame:

$$\text{Avviamento Treno LM71} = 33 \times 1.1/4.43 = 8.2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Frenatura Treno LM71} = 35 \times 1.1/4.43 = 8.7 \text{ kN/m}$$

Tali azioni saranno applicate su tutti e 3 i binari ipotizzando che su uno avvenga l'avviamento e sulle altre 2 sia applicata l'azione di frenatura. Nel seguito si riporta la configurazione più gravosa tra quelle esaminate:

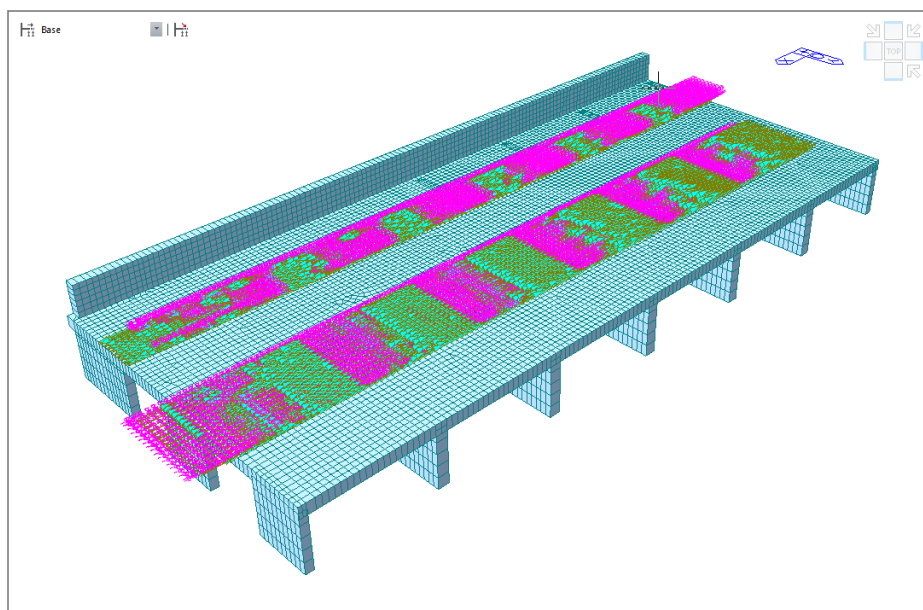


Figura 14 – Azioni da avviamento/frenatura

8.4 Ritiro

I fenomeni di ritiro sono stati considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente pari a:

RITIRO

RH	70 %	Umidità relativa in percentuale
Ac	1000000 mm ²	Area sez. trasversale
u	2000 mm	Perimetro sezione a contatto atmosfera
h ₀	1000.00 mm	Dimensione fittizia
k _h	0.70	
f _{ck}	33.2 MPa	Resistenza caratteristica compressione
ε _{cd}	-0.34 ‰	
ε _{cd,∞}	-0.237 ‰	

t(giorni)	7 giorni	età del cls nel momento considerato (scasseramento)
t _s (giorni)	27375 giorni	età del cls rispetto al quale si inizia a valutare il ritiro
β _{ds} (t-t _s)	1.048	
ε _{cd} (t)	-0.249 ‰	Deformazione per ritiro da essiccamento
ε _{ca,∞}	-0.058 ‰	Deformazione per ritiro autogeno
ε _{cs}	-0.31 ‰	Deformazione totale per ritiro

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = 10.02 \quad \Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) \cdot E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) \cdot E_{cm} \cdot \alpha}$$

Tuttavia nel modello si applica una azione ridotta al 50% ovvero $\Delta T_{\text{ritiro}} = 5.0$ °C ipotizzando che per ridurre le suddette azioni la fase di getto avvenga in più fasi.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO					
	FV01 - stazione di Enna					
RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B	FOGLIO 31 di 80

8.5 Azioni termiche

Alla soletta superiore si è applicata una variazione termica uniforme pari a $\Delta t = \pm 15^{\circ}\text{C}$ ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a $\Delta t = \pm 5^{\circ}\text{C}$.

8.6 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk} = 100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per α (se $\alpha > 1$), ma non per il coefficiente di incremento dinamico. Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale forza è applicata sui tre binari distribuita lungo tutta la lunghezza del binario.

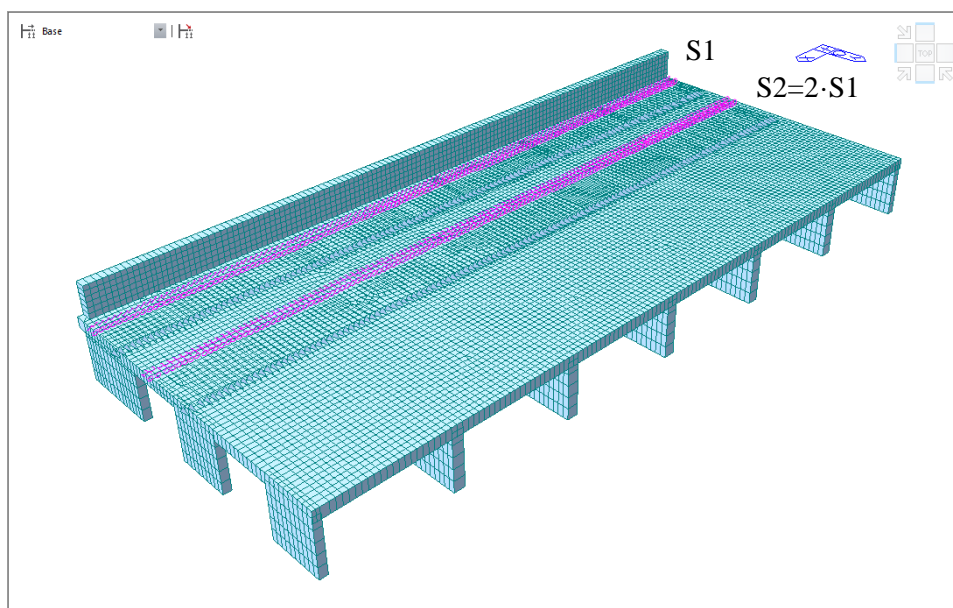


Figura 15 – Azioni da serpeggio (nota: per i binari 2 e 3 è stata considerata un'unica risultante centrata)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

8.7 Azioni sismiche

8.7.1 Analisi dinamica lineare

Per la valutazione dell'azione sismica si è utilizzata l'analisi dinamica con spettro di risposta. L'analisi dinamica a spettro di risposta consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- nella combinazione di questi effetti.

Per ciascuna componente di moto, applicata separatamente, devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.

Nel caso in esame l'analisi è stata condotta adottando cautelativamente lo spettro di risposta elastico. La combinazione degli effetti è stata calcolata automaticamente dal programma di calcolo adottando il metodo CQC.

Gli effetti ottenuti dall'analisi dinamica lineare eseguita sul modello vengono combinati secondo le prescrizioni di normativa per tener conto della variabilità spaziale del moto.

Gli effetti ottenuti dall'analisi dinamica lineare a spettro di risposta di progetto sono combinati secondo le seguenti espressioni:

$$SLV_x: G_k + \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} + (1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y)$$

$$SLV_y: G_k + \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} + (0,30 \cdot E_x + 1,00 \cdot E_y)$$

Come specificato al paragrafo 6.4, la struttura è stata progettata adoperando un fattore di struttura pari ad $q=1,5$ per le verifiche allo SLV della parte in elevazione; per quanto riguarda la fondazione, invece, in accordo con il cap. 7.2.5 delle NTC, deve essere progettata per rimanere in campo elastico, pertanto la verifica della stessa sarà condotta utilizzando un fattore di struttura pari ad $q=1,0$.

8.7.2 Risposta modale

Sono stati analizzati un totale di 30 modi di vibrare. Si riportano i modi di vibrare principali della struttura con i relativi periodi e masse partecipanti.



Figura 16: Modo 1

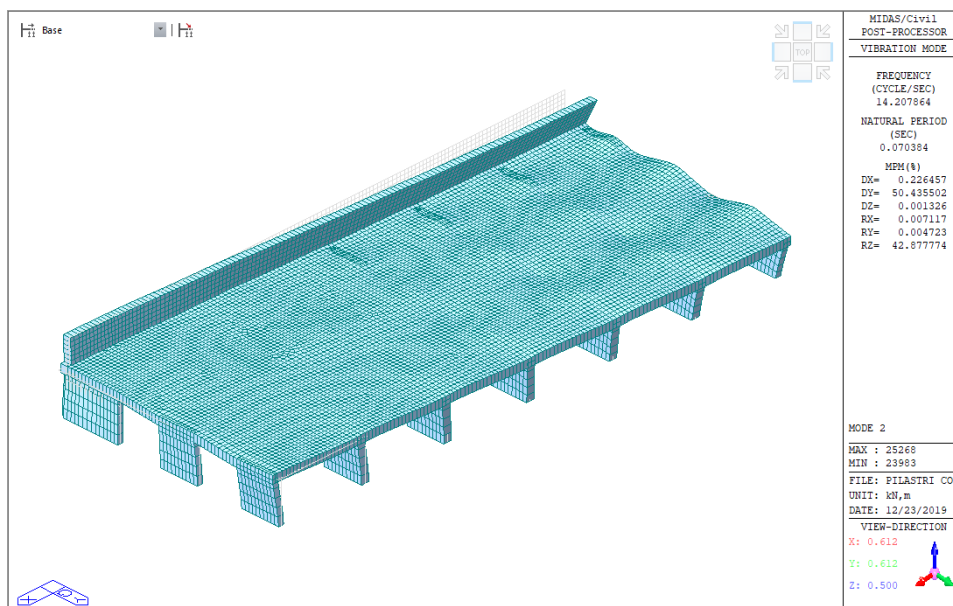


Figura 17: Modo 2



Figura 18: Modo 3

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	95.68	95.68	0.01	0.01	0.36	0.36
2	0.23	95.91	50.44	50.44	42.88	43.24
3	0.15	96.06	36.01	86.46	44.02	87.26
4	0.01	96.07	0.1	86.56	0.17	87.43
5	0	96.07	0.06	86.61	0.04	87.47
6	0	96.07	0.01	86.62	0	87.47
7	0	96.07	5.34	91.96	4.01	91.49
8	0	96.07	0.01	91.97	0	91.49
9	0	96.07	0	91.97	0	91.49
10	0	96.07	0.06	92.03	0.28	91.77
11	0	96.08	0.82	92.85	0.76	92.53
12	0	96.08	0.02	92.87	0.02	92.55
13	0	96.08	0	92.87	0.07	92.63
14	0	96.08	0.06	92.93	0	92.63
15	0	96.08	0.15	93.08	0.02	92.65
16	0.01	96.09	0	93.08	0.15	92.8
17	0.01	96.1	0.1	93.18	0	92.8
18	0.04	96.13	0.41	93.58	0.13	92.93
19	0	96.13	0.02	93.61	0.21	93.13
20	0	96.13	0.23	93.84	0	93.13
21	0	96.13	0.21	94.05	0.16	93.29
22	0	96.13	0.94	95	0.03	93.33
23	0	96.14	0.12	95.12	0.01	93.34
24	0	96.14	0.02	95.14	0.63	93.97
25	0	96.14	0.01	95.14	0.02	93.99
26	0	96.14	0.09	95.23	0.02	94.01
27	0	96.14	0	95.23	0.01	94.03
28	0	96.14	0.02	95.25	0.21	94.24
29	0	96.14	0.04	95.29	0	94.24
30	0	96.14	0	95.3	0.19	94.43

La somma delle masse relative eccitate dai modo considerati e' il 95% delle masse totali maggiore del 85% come richiesto dalla normativa vigente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

8.8 COMBINAZIONI DI CARICO

Si riportano di seguito le combinazioni di carico utilizzate nei calcoli. Ai fini delle verifiche agli stati limite, in accordo con le NTC08, si definiscono le seguenti combinazioni di:

- Combinazione FONDAMENTALE, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{G3} G_3 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot \gamma_{Q3} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione RARA, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione FREQUENTE, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione QUASI PERMANENTE, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione SISMICA, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica:

$$E + G_1 + G_3 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Nelle combinazioni per le verifiche allo stato limite di esercizio (SLE), ovvero quelle rare, frequenti e quasi permanenti, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 . Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguite facendo riferimento allo stato limite ultimo di tipo strutturale *STR* ovvero per il raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali.

Come anticipato precedentemente gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \times Q_{ki}$$

Il valore assunto per il coefficiente ψ_{2i} per i carichi mobili in condizioni sismiche è pari a $\psi_{2i} = 0.20$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

8.8.1 Coefficienti parziali e di combinazione

Si utilizzano i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione di seguito riportati.

Tabella 1 – Coefficienti parziali per i carichi mobili per ponti ferroviari

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 2 – Coefficienti di combinazione ψ per i carichi mobili per ponti ferroviari

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F _{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T _k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Tabella 3- Riepilogo condizioni di carico

Peso proprio	G1
Carichi permanenti	G2
Sovraccarico ferroviario	Q1
Avviamento e frenatura	Q2
Serpeggio	Q3
Variazione termica sulla soletta superiore	T
Ritiro	R
Azione sismica longitudinale	Sisma X
Azione sismica trasversale	Sisma Y

Tabella 4- Riepilogo gruppi di carico considerati in fase di analisi

RIEPILOGO GRUPPI DI CARICO			
	Q1	Q2	Q3
Gr.1	1	0.5	1
Gr.3	1	1	0.5

In particolare facendo riferimento al caso b in tabella 5.2.III delle NTC2018 (tre binari carichi con LM71) i coefficienti nei gruppi di carico diventano:

RIEPILOGO GRUPPI DI CARICO (caso b tab.5.2.III)			
	Q1	Q2	Q3
Gr.1	1 x 0.75	0.5 x 0.75	1 x 0.75
Gr.3	1 x 0.75	1 x 0.75	0.5 x 0.75

Si riportano di seguito le combinazioni di carico ritenute più significative:

Combinazioni di carico SLU/SLV						
	slu1	slu2	slu3	slu4	SLV1	SLV2
G1	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1
G2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1
Gr1	1.45	0	1.16	0	0	0
Gr2	0	1.45	0	1.16	0	0
T	±0.6	±0.6	±1	±1	±0.5	±0.5
R	1	1	1	1	1	1
EX					1	0.3
EY					0.3	1

Nota: l'azione termica è stata considerata con entrambi i segni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

Combinazioni di carico SLE					
	SLE_R1	SLE_R2	SLE_R3	SLE_R4	SLE_QP
G1	1	1	1	1	1
G2	1	1	1	1	1
Gr1	1	0	0.8	0	0
Gr2	0	1	0	0.8	0
T	±0.5	±0.5	±1	±1	±0.5
R	1	1	1	1	1

9 VERIFICHE

Nelle pagine che seguono si riportano le verifiche strutturali previste dalla Normativa di riferimento allo SLU e allo SLE.

9.1 Verifica agli SLU: Pressoflessione e Taglio

Le verifiche a pressoflessione vengono condotte confrontando le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando il corrispondente fattore di sicurezza (CS) come rapporto tra la sollecitazione resistente e la massima agente.

9.1.1 Verifica a pressoflessione

Le verifiche flessionali allo SLU sono state eseguite adottando le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura sono state dedotte a partire dalle deformazioni utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

Per quanto attiene la legge σ - ϵ del calcestruzzo si è utilizzata una curva parabola-rettangolo, considerando solo la porzione compressa e con $\epsilon_{c2}=0,2\%$ ed $\epsilon_{cu}=0,35\%$.

Per quanto riguarda l'acciaio si è assunto un diagramma bilineare elastico-perfettamente elastico finito con $\epsilon_{cu}=1,0\%$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

9.1.2 Verifica a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1992-1-1:2005, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

- $V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$, resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio
- $V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$, valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento
- $V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$, valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$ con d in mm
- $\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$
- A_{sl} è l'area dell'armatura tesa
- b_w è la larghezza minima della sezione in zona tesa
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd}$
- N_{Ed} è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi
- A_c è l'area della sezione di calcestruzzo
- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$
- $k_1 = 0,15$
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$
- $v = 0,5$ per calcestruzzi fino a C70/85
- $1 \leq \cot \vartheta \leq 2,5$
- A_{sw} è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio
- s è il passo delle staffe

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

- f_{ywd} è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio
- $v_1 = v$ è il coefficiente di riduzione della resistenza del calcestruzzo fessurato per taglio
- α_{cw} è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

9.2 Verifica agli SLE: Limitazione delle Tensioni e Fessurazione

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato

Il controllo delle tensioni nei materiali viene effettuato supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare.

9.2.1 Verifica di fessurazione

In accordo con quanto riportato al paragrafo 4, si adotta il limite $w_1 = 0.2$ mm per tutti gli elementi strutturali analizzati nella presente relazione.

9.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio

In accordo con la normativa ferroviaria, che pone limiti tensionali più severi rispetto a quanto prescritto dal D.M., la massima tensione di compressione del cls deve rispettare la limitazione:

- $\sigma_c < 0.55 f_{ck}$ per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.40 f_{ck}$ per combinazione quasi permanente;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

La massima tensione di trazione dell'acciaio deve rispettare la limitazione:

- $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$ per combinazione caratteristica (rara).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

10 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano i risultati in termini di involucro delle sollecitazioni nei diversi elementi costituenti l'opera ottenuti rispettivamente per:

- Le combinazioni di verifica agli SLU-SLV (Env_SLU-SLV).
- Le combinazioni di verifica allo SLE (Env_SLE).

10.1 Sollecitazioni Env_SLU-SLV

10.1.1 Soletta superiore

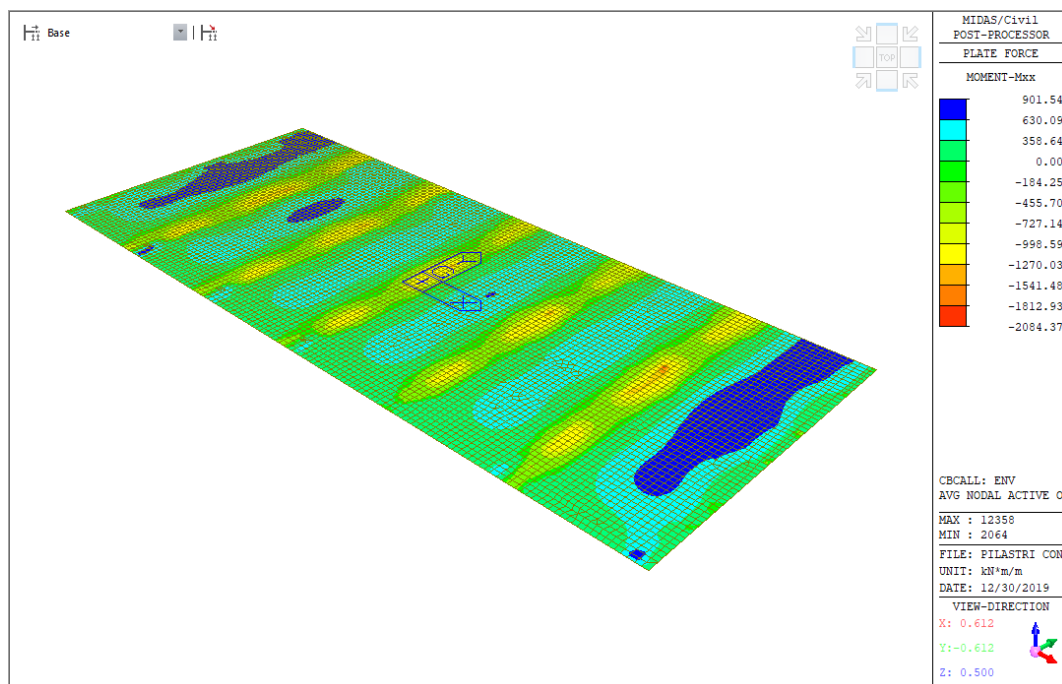


Figura 19 – Momento Mxx [kNm/m]

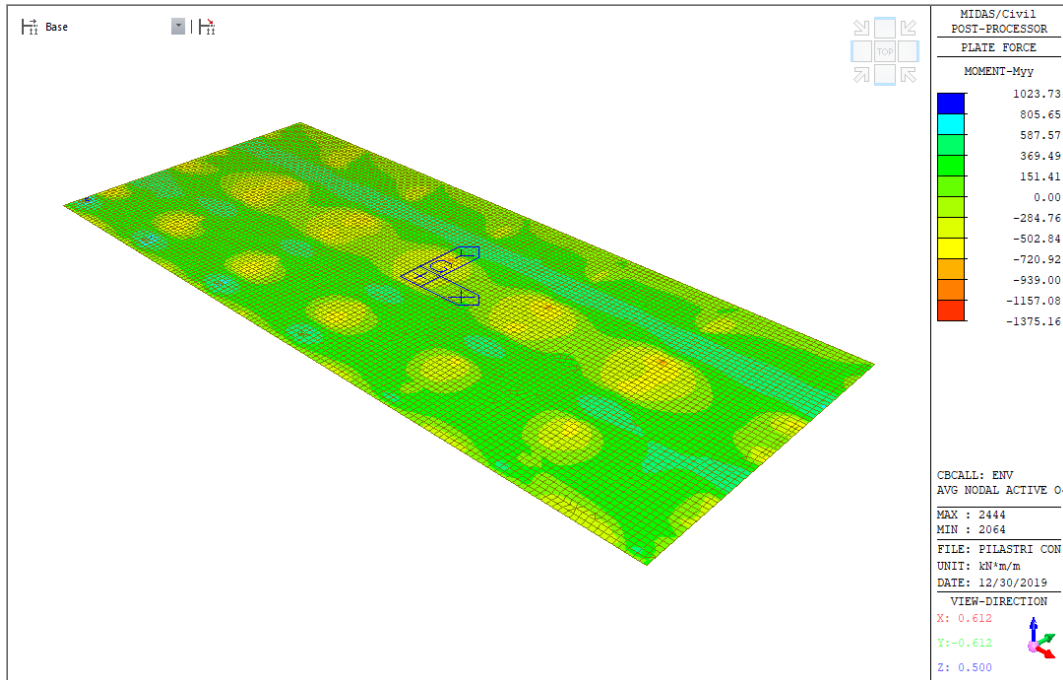


Figura 20 – Momento Myy [kNm/m]

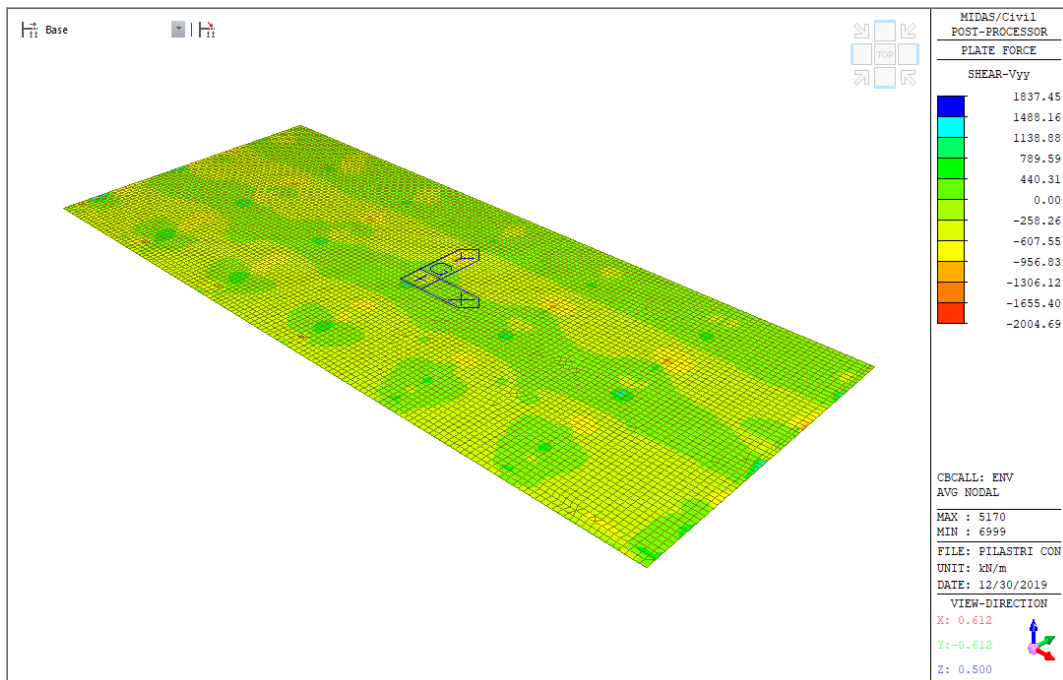


Figura 21 – Soletta superiore - taglio Vyy [kN/m]

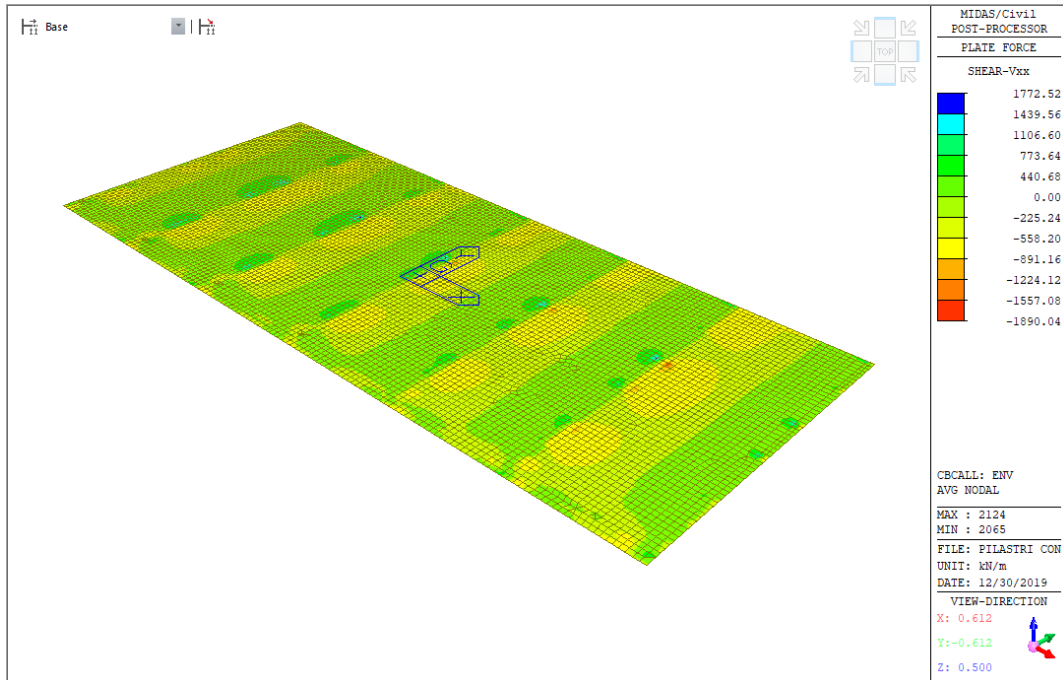


Figura 22 – Soletta superiore - taglio V_{xx} [kN/m]

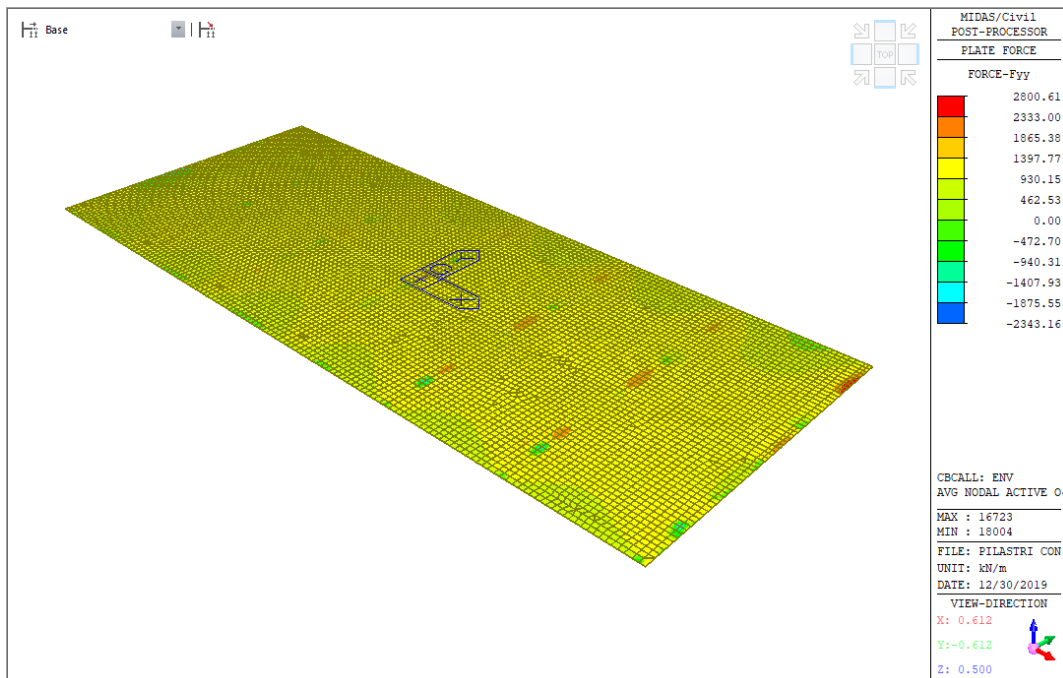


Figura 23 – Soletta superiore – Sforzo assiale direz. Y - F_{yy} [kN/m]

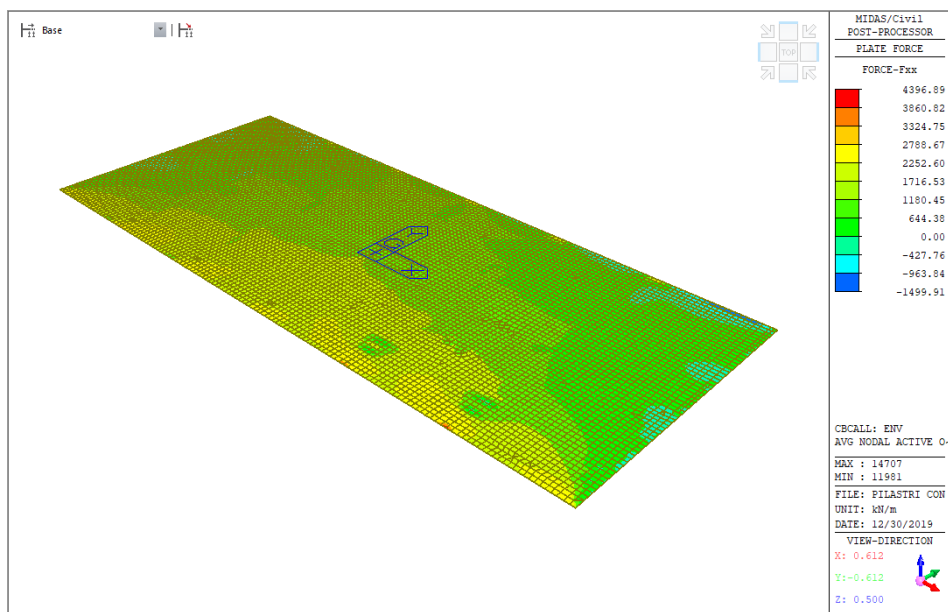


Figura 24 – Soletta superiore – Sforzo assiale direz. X - Fxx [kN/m]

10.1.2 Setti verticali

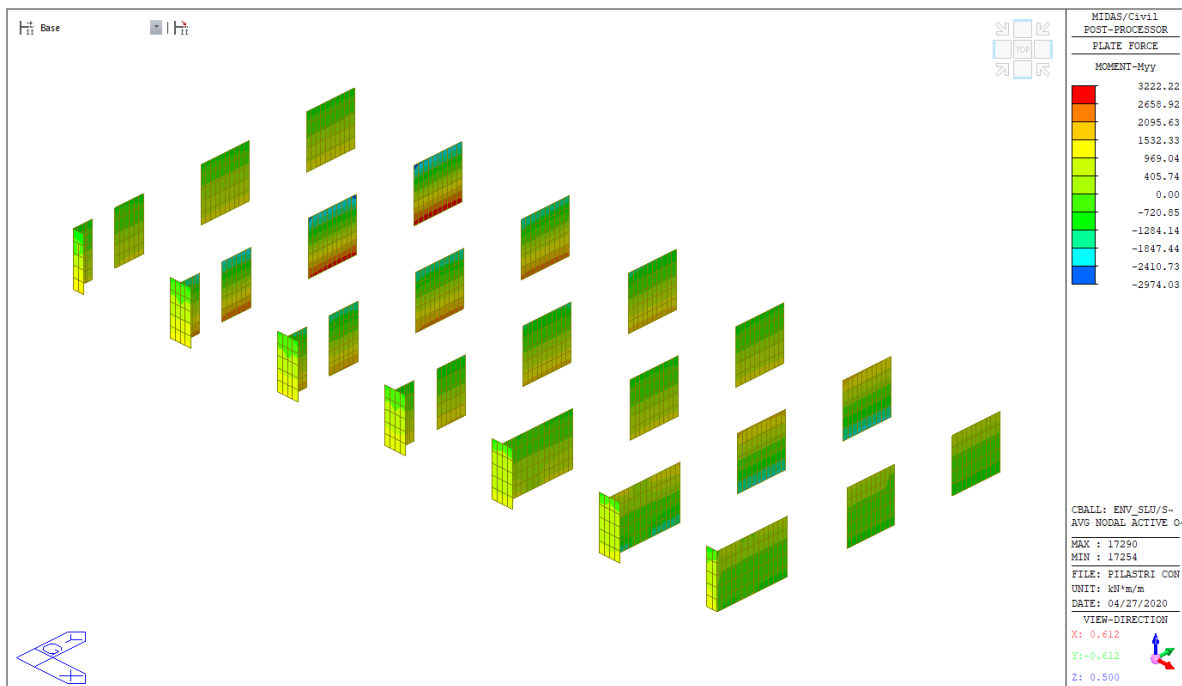


Figura 25 – Pareti verticali - Momento Myy [kNm/m]

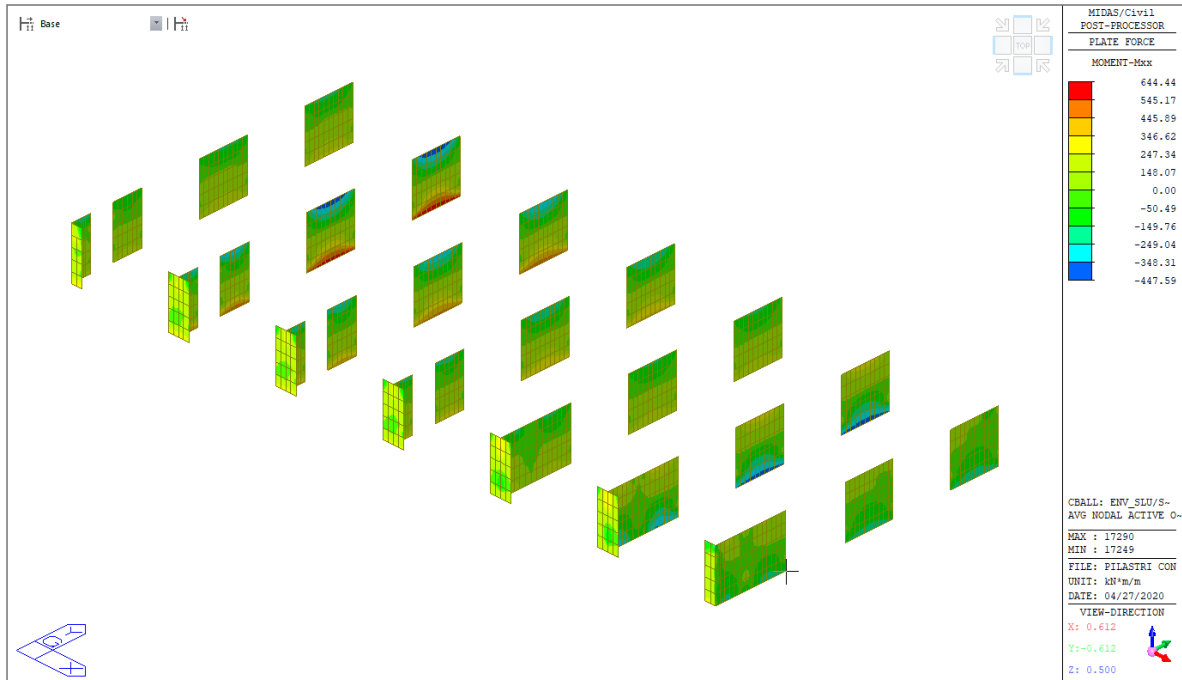


Figura 26 – Pareti verticali - Momento Mxx [kNm/m]

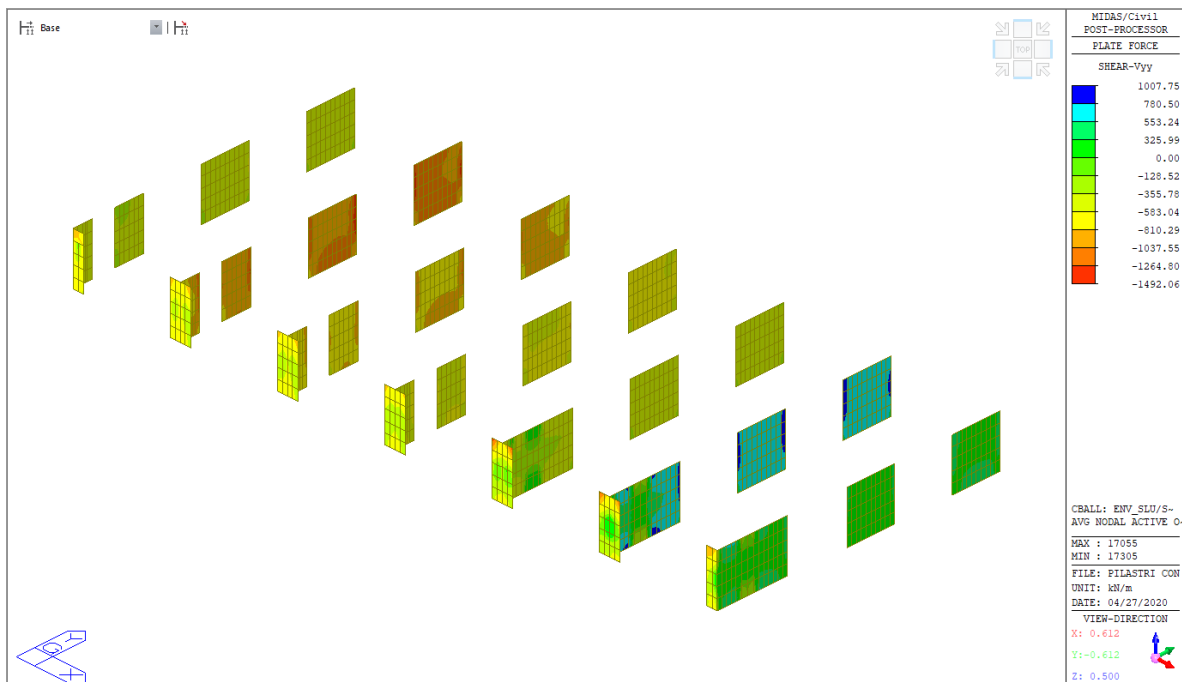


Figura 27 – Pareti verticali - taglio Vyy [kN/m]

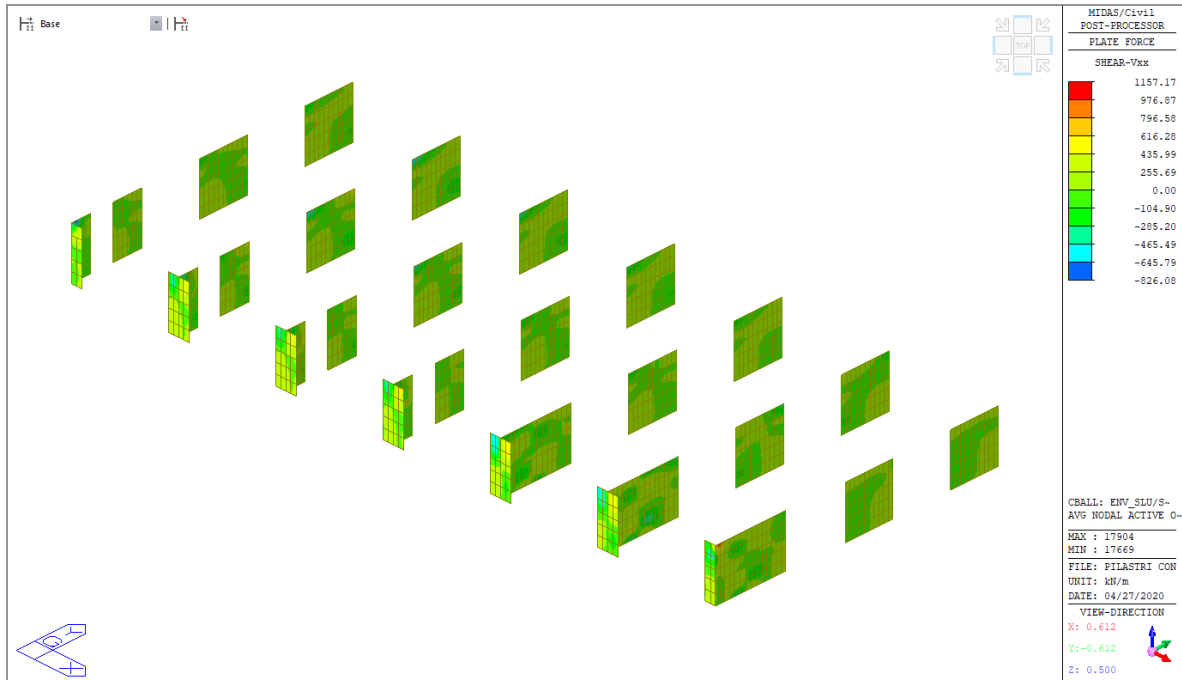


Figura 28 – Pareti verticali - taglio Vxx [kN/m]

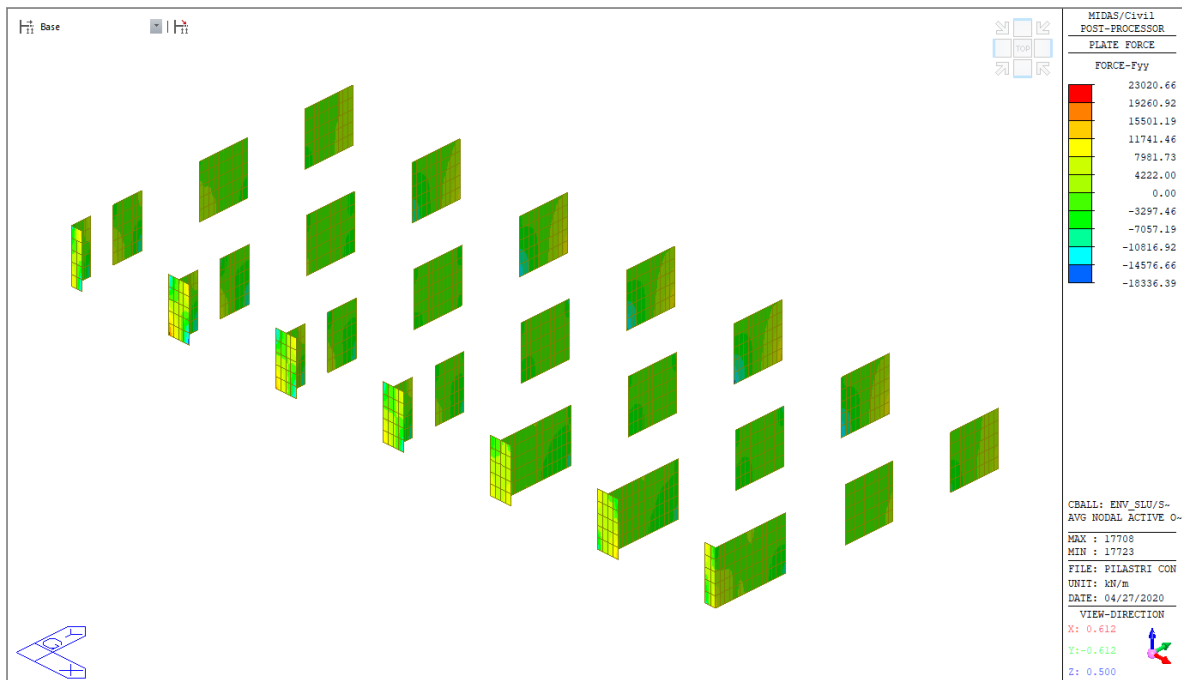


Figura 29 – Pareti verticali – sforzo assiale Fyy [kN/m]

10.2 Sollecitazioni Env_SLE

10.2.1 Soletta superiore

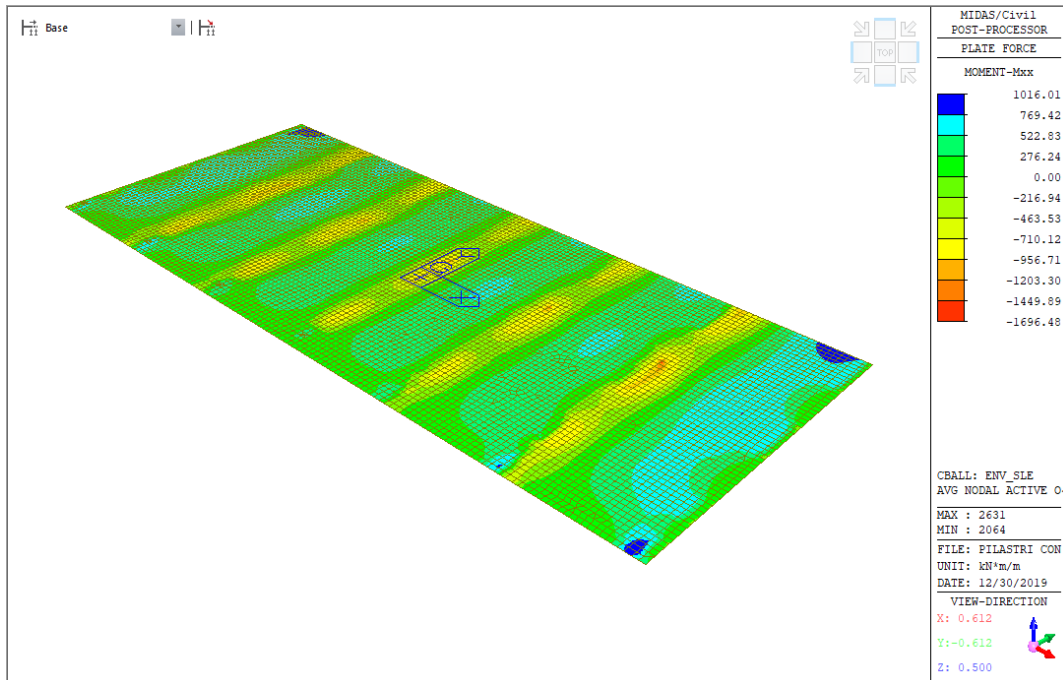


Figura 30 – Momento Mxx [kNm/m]

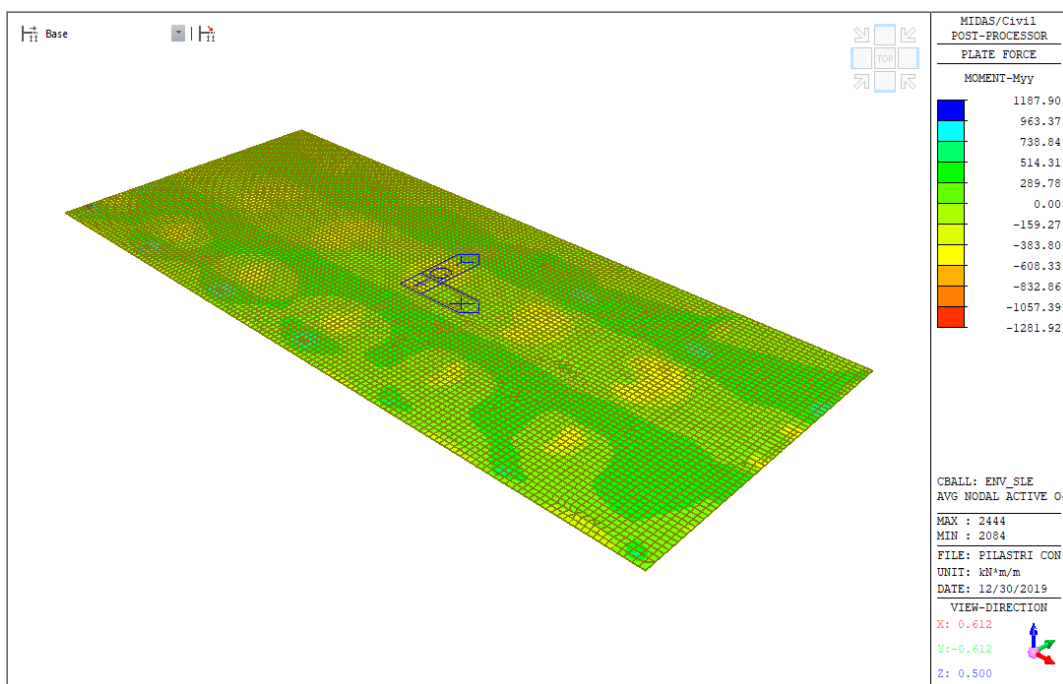


Figura 31 – Momento Myy [kNm/m]

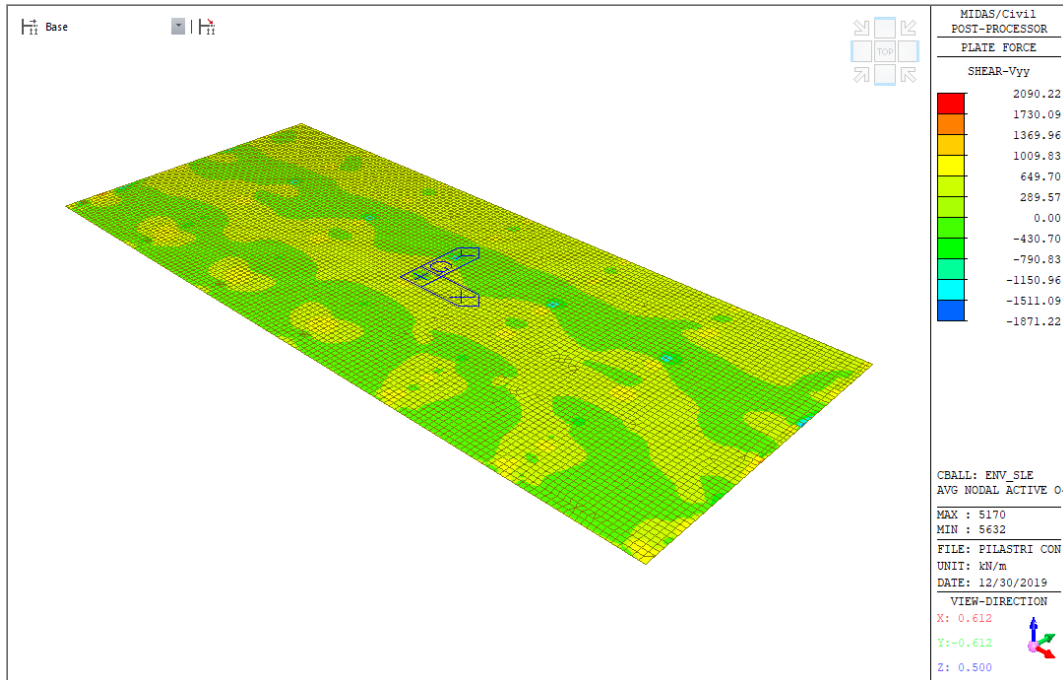


Figura 32 – Soletta superiore - taglio Vyy [kN/m]

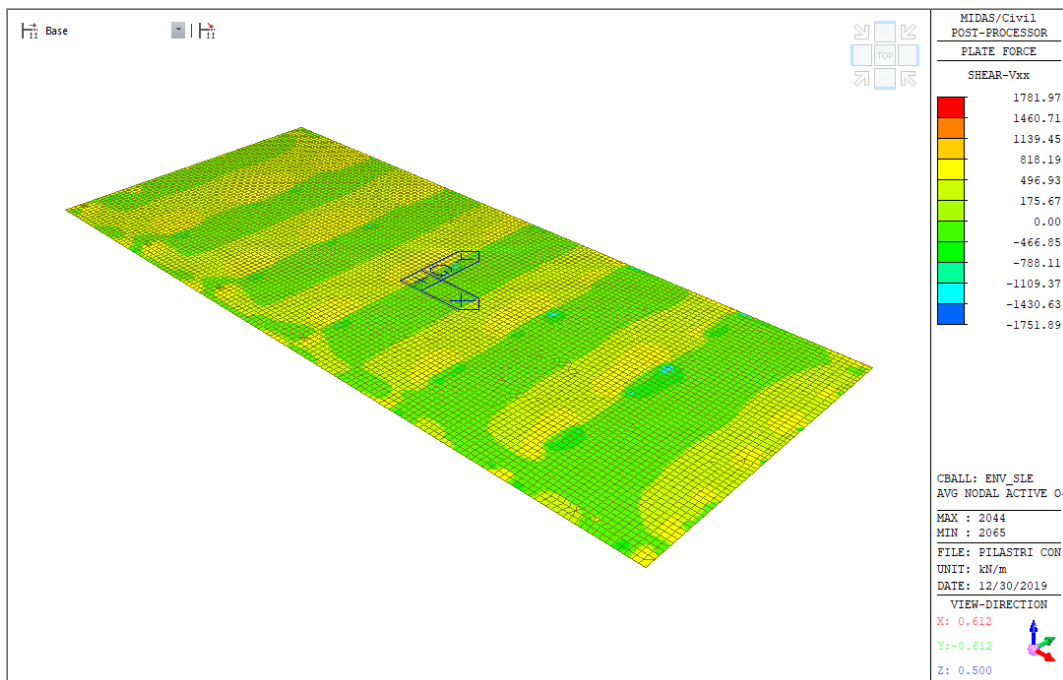


Figura 33 – Soletta superiore - taglio Vxx [kN/m]

10.2.2 Setti verticali

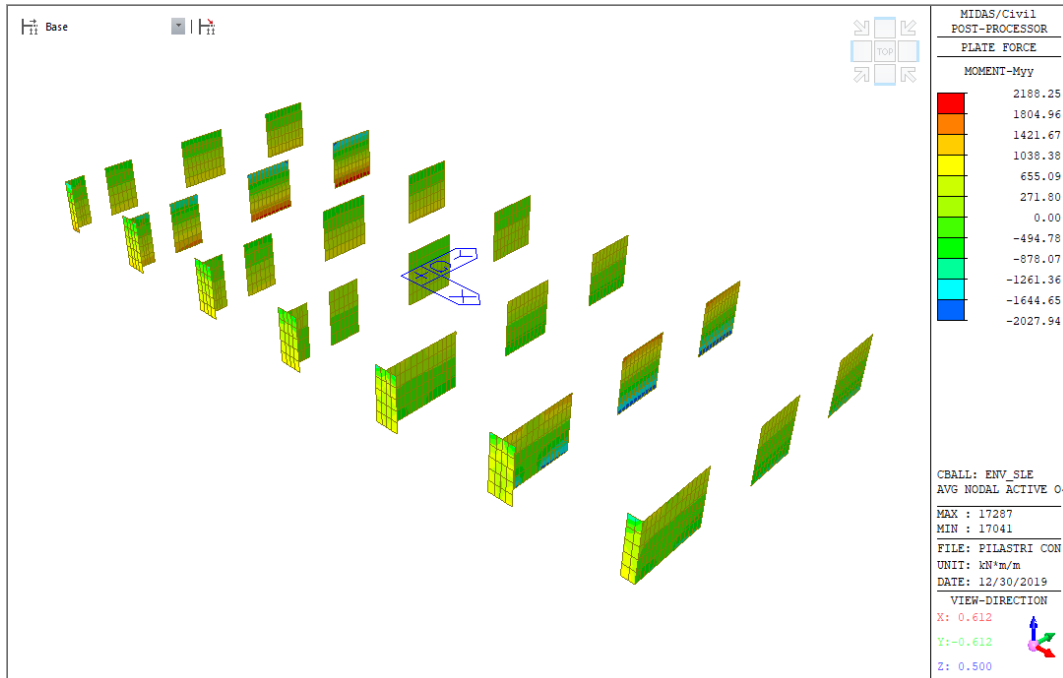


Figura 34 – Pareti verticali - Momento Myy [kNm/m]

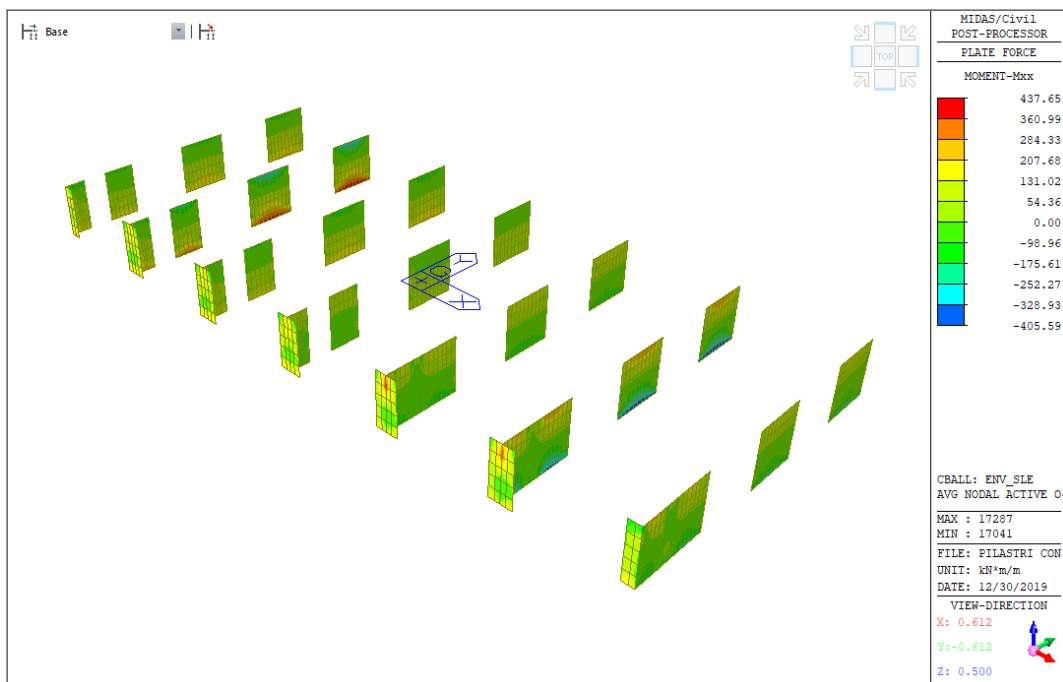


Figura 35 – Pareti verticali - Momento Mxx [kNm/m]

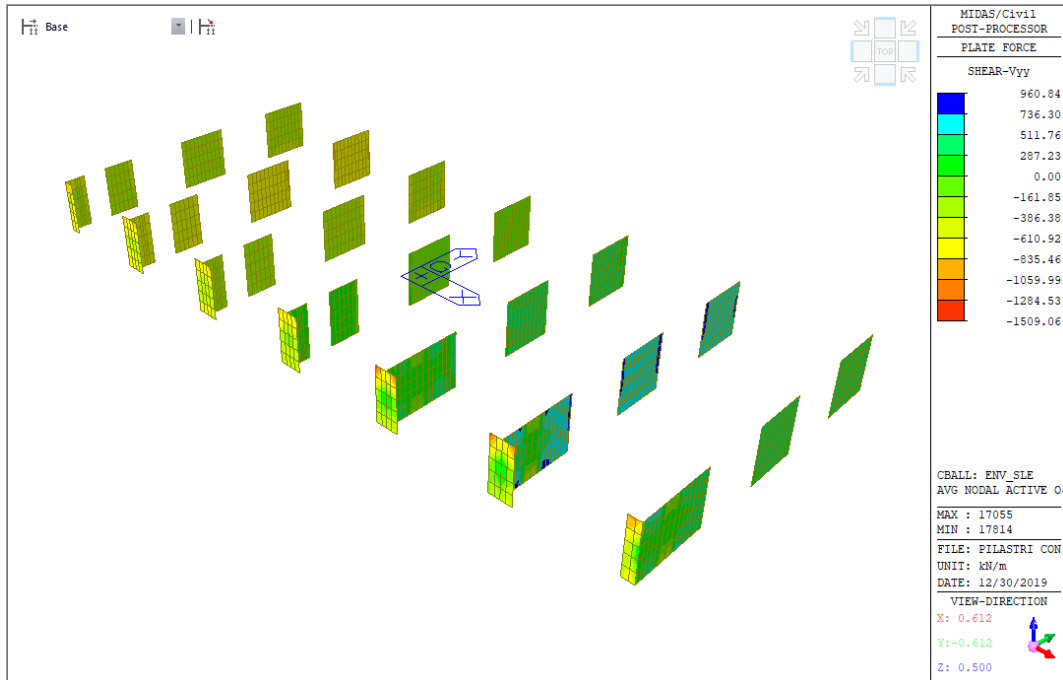


Figura 36 – Pareti verticali - taglio Vyy [kN/m]

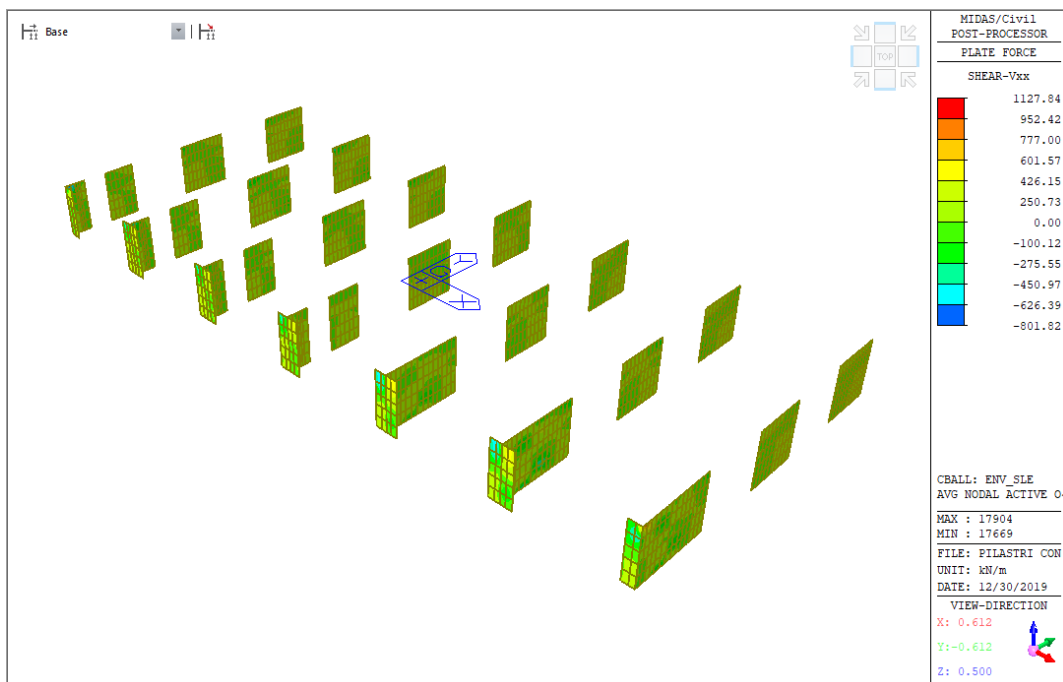


Figura 37 – Pareti verticali - taglio Vxx [kN/m]

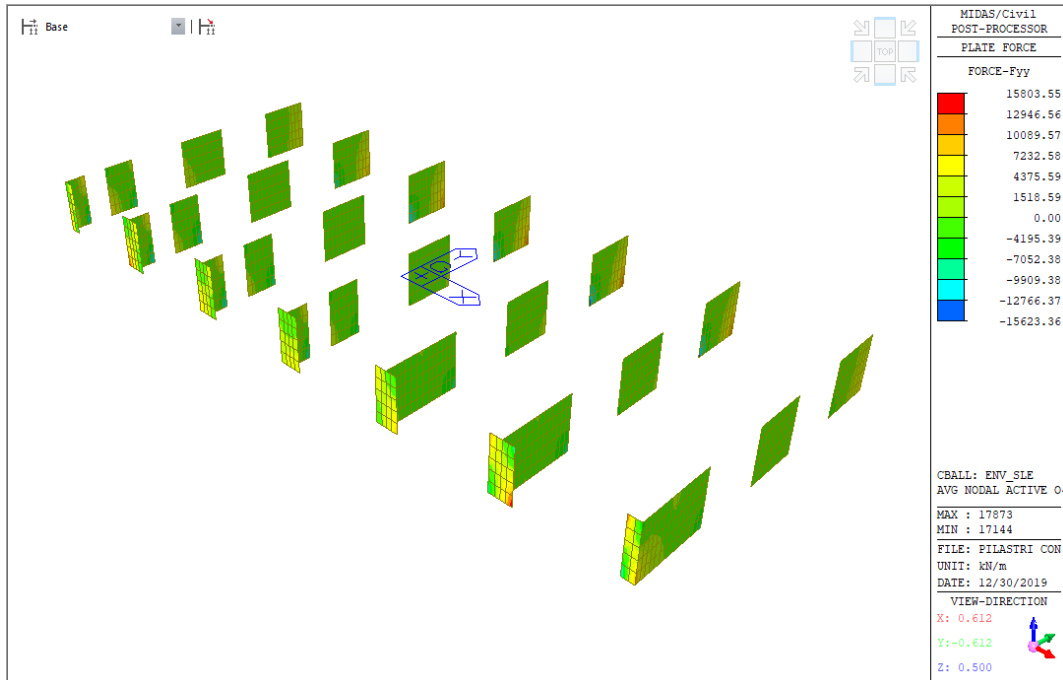
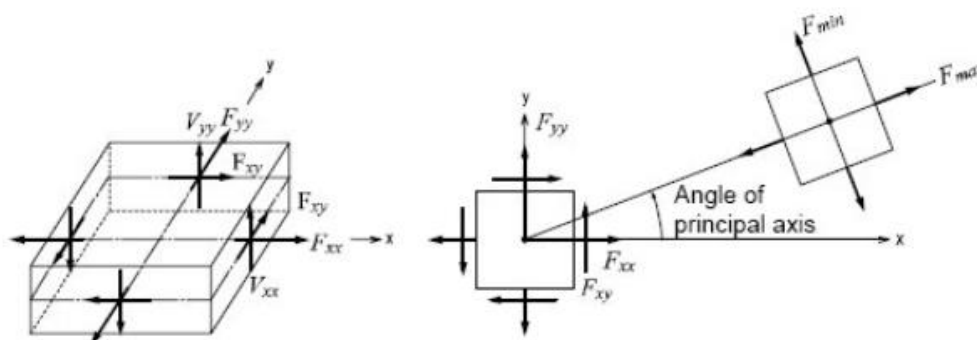


Figura 38 – Pareti verticali – sforzo assiale Fyy [kN/m]

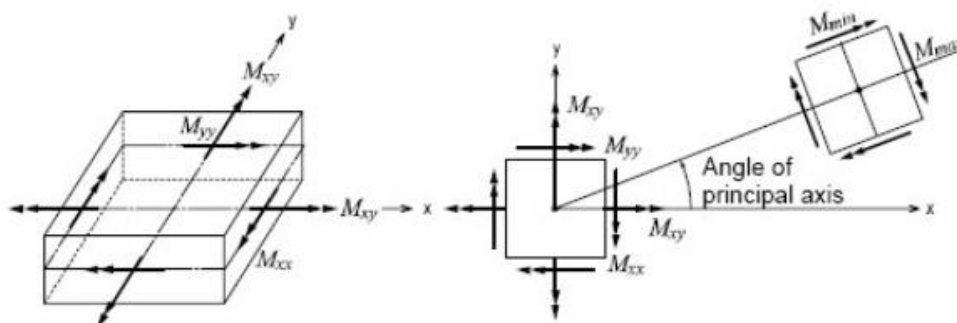
11 SIMBOLOGIA MIDAS CIVIL

Il software utilizzato utilizza la seguente terminologia per la definizione delle sollecitazioni sugli elementi tipo plate:

- **F_{xx}**: forza assiale per unità di lunghezza nella direzione x (perpendicolare al piano locale y,z);
- **F_{yy}**: forza assiale per unità di lunghezza nella direzione y (perpendicolare al piano locale x,z);
- **V_{xx}**: azione tagliante per unità di lunghezza nella direzione dello spessore nel piano locale y,z;
- **V_{yy}**: azione tagliante per unità di lunghezza nella direzione dello spessore nel piano locale x,z;
- **M_{xx}**: momento flettente per unità di lunghezza nella direzione locale x (momento fuori dal piano intorno all'asse locale y);
- **M_{yy}**: momento flettente per unità di lunghezza nella direzione locale y (momento fuori dal piano intorno all'asse locale x);



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

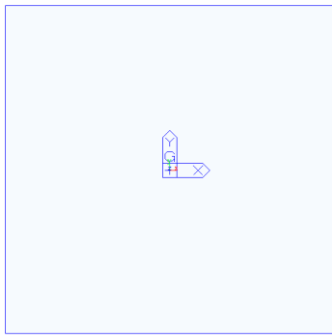


(b) Moments per unit length due to out-of-plane bending actions at the output locations

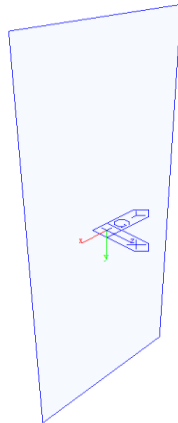
Figura 39 – Plate forces/moments in MIDAS CIVIL

Nel caso in esame inoltre risulta che gli assi locali dei singoli elementi piani, così disposti:

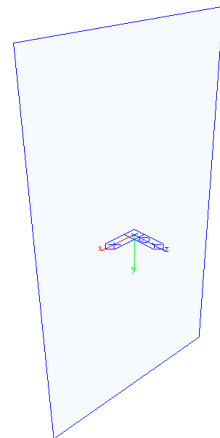
- Per le solette orizzontali la terna locale x,y,z coincide con la terna di riferimento globale GCS- X,Y,Z ;
- Per le pareti in direzione X , l'asse locale z coincide con l'asse GCS- X , mentre l'asse y è orientato secondo l'asse globale verticale GCS- Z ;
- Per le pareti in direzione Y , l'asse x coincide con l'asse GCS- Y , mentre l'asse y è orientato secondo l'asse globale verticale GCS- Z ;



SOLETTA



Pareti Direz.X



Pareti Direz.Y

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

12 VERIFICHE DI RESISTENZA SLU/SLV

Le verifiche a pressoflessione sono state effettuate con l'ausilio del software commerciale Presfle v. 5.18 distribuito dalla Concrete, mentre le verifiche a taglio sono state effettuate con l'ausilio di un foglio di calcolo strutturato ad hoc.

12.1 Verifiche solettone superiore

Le sollecitazioni massime agenti sul solettone superiore (escludendo i picchi tensionali) sono le seguenti:

$M_{xx}^+ = 850$ kNm/m	Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. X)
$M_{xx}^- = 1800$ kNm/m	Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. X)
$M_{yy}^+ = 900$ kNm/m	Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. Y)
$M_{yy}^- = 1100$ kNm/m	Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. Y)
$F_{xx}=F_{yy}=1500$ kN/m	Sforzo normale assunto per le verifiche del solettone superiore nelle due direz. X e Y. (+ Trazione; - Compressione)
$V_{xx}=1400$ kN/m	Taglio massimo in direz. loc. z per unità di lunghezza in dir. loc. x nel solettone superiore
$V_{yy}=1600$ kN/m	Taglio massimo in direz. loc. z per unità di lunghezza in dir. loc. y nel solettone superiore

Si prevede di disporre in entrambe le direzioni (direzione X e direzione Y) armatura $\Phi 30/15$ cm sia superiormente che inferiormente ad eccezione che per la zona di competenza dei pilastri dove si prevede di disporre un secondo strato di armatura superiore $\Phi 30/15$ cm sia in direzione X che Y (necessaria per le verifiche allo SLE).

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Elemento	Geometrie					Calcestruzzo					Acciaio		
	b_w (cm)	H (cm)	c (cm)	d (cm)	A_c (mm ²)	R_{ck} (Mpa)	f_{ck} (Mpa)	γ_c	α_{cc}	f_{cd} (Mpa)	γ_s	f_{yk} (Mpa)	f_{yd} (Mpa)
SOLETTA	100	100	5.5	94.5	1000000	40.0	33.2	1.50	0.85	18.81	1.15	450	391.3

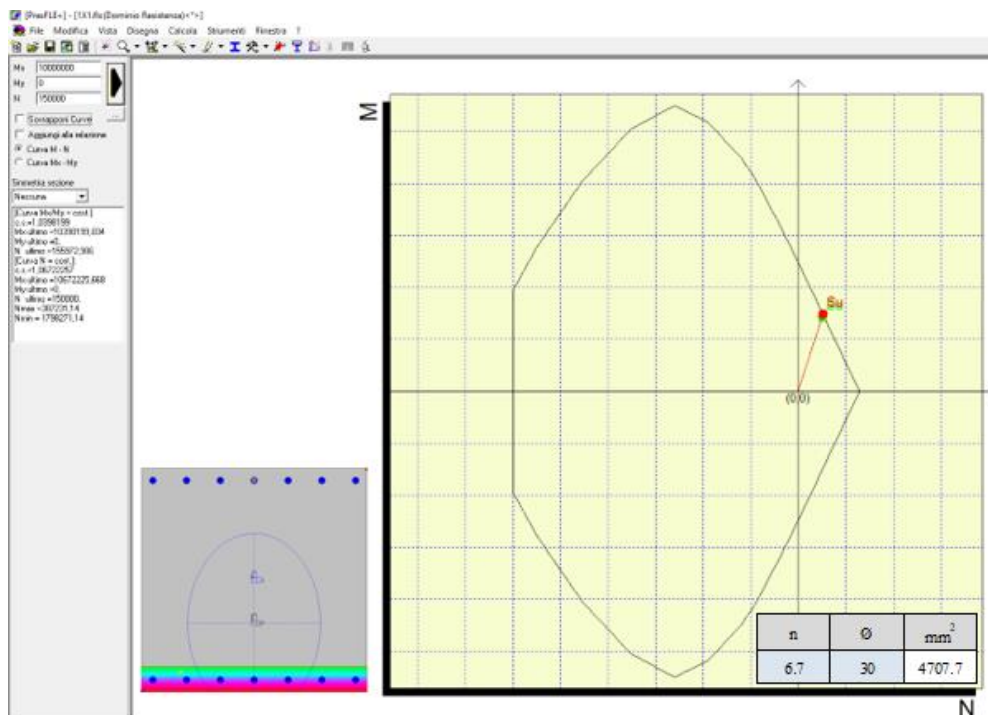


Figura 40 – Momento resistente armature $\Phi 30/15$ cm : $M_{Rd,xx} = M_{Rd,yy} = 1000$ kNm/m (con $N=1500$ kN)

Come specificato in precedenza, e come mostrato in Figura 41, in direzione Y, ad eccezione di alcuni picchi tensionali dati dal modello di calcolo a mesh che possono ritenersi trascurabili, l'armatura è soddisfacente. Mentre, come mostrato in Figura 42, in direzione X l'armatura così disposta deve essere incrementata nelle zone di competenza delle pareti verticali (circa 3.5m+ancoraggio stimato in 1,25m per lato). Totale 6 m centrati rispetto all'asse della parete) con un secondo strato di $\Phi 30/15$ cm (vedi Figura 43).

Tuttavia per il soddisfacimento delle verifiche allo SLE si dispone il secondo strato in entrambe le direzioni.

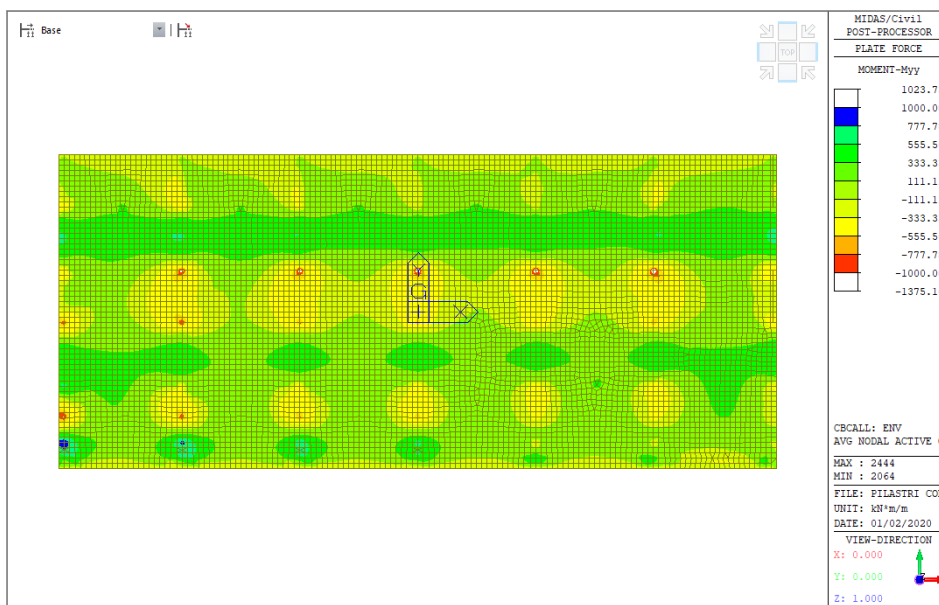


Figura 41 – Momento resistente $M_{Rd,yy}$ armatura $\Phi 30/15$ superiore e inferiore (disposta in direz. Y)

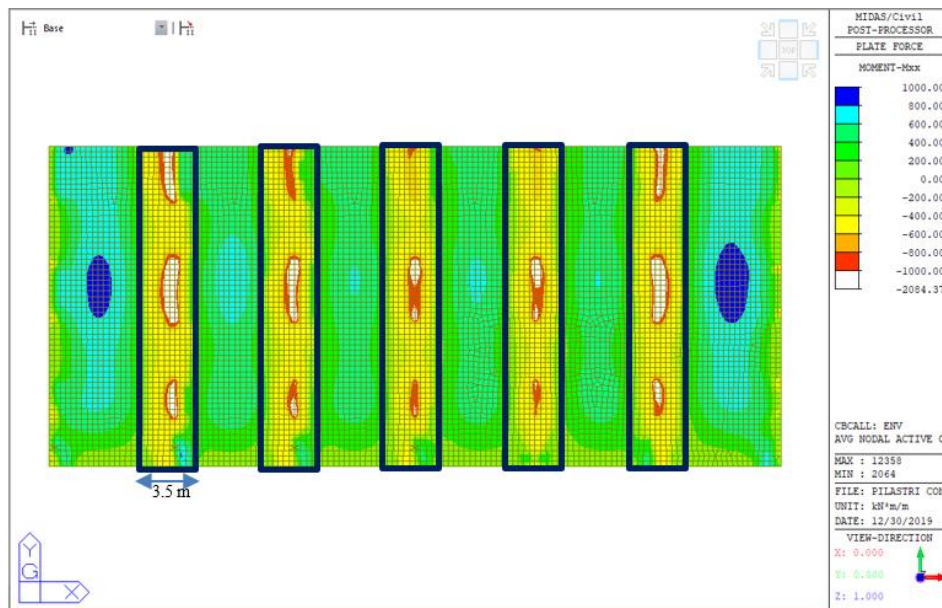


Figura 42 – Momento resistente $M_{Rd,xx}$ armatura $\Phi 30/15$ superiore e inferiore (disposta in direz. X)

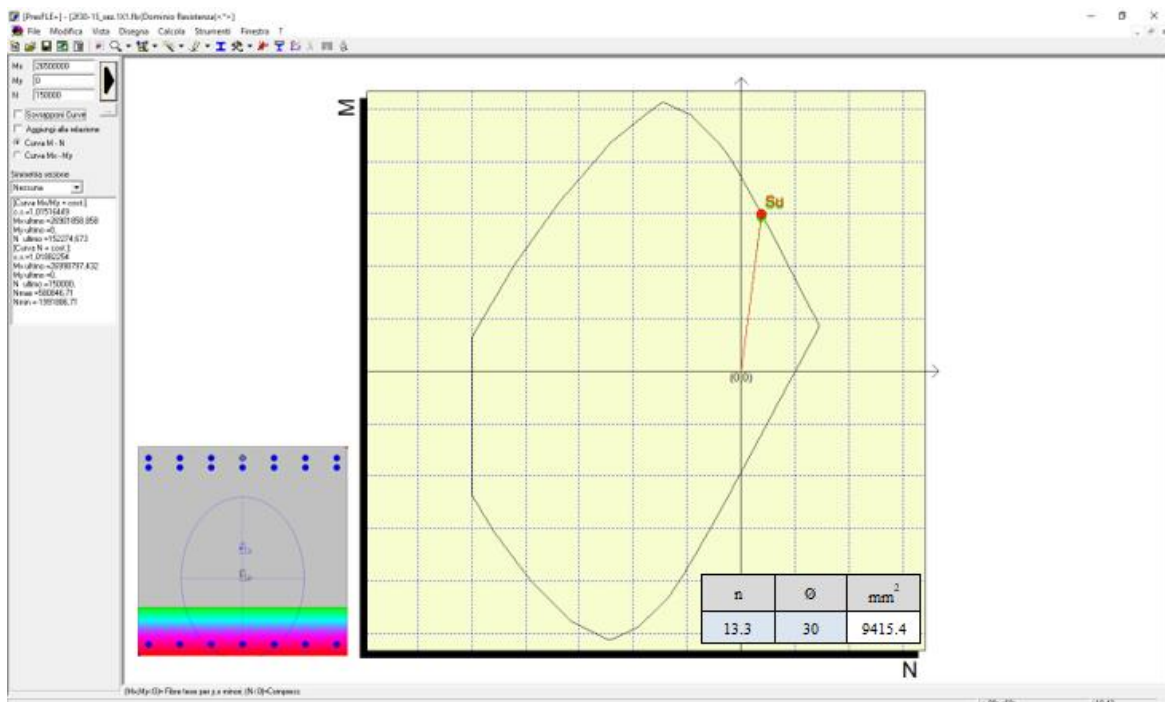


Figura 43 – Momento resistente armature $2\Phi 30/15$ cm : $M_{Rd,xx} = M_{Rd,yy} = 2650$ kNm/m (con $N=1500$ kN)

Nei riguardi del soddisfacimento delle verifiche a taglio, la soletta ad eccezione che nelle zone in corrispondenza delle pareti è verificato come un elemento non armato a taglio disponendo tuttavia una armatura minima costituita da spilli $6\Phi 8/mq$:

Elemento	Armatura long. tesa			Sollecitazioni di Calcolo			Taglio Resistente Elementi Senza Armatura A Taglio							
	n	Ø	mm ²	Nsd (kN)	v	Vsd (kN)	σ'_{cp} (Mpa)	ρ_l	k	f_{cK} (Mpa)	v_{min}	$V_{Rd\ min}$ (kN)	V_{Rct} (kN)	c (V_{rd}/V_{sd})
SOLETTA	6.7	30	4707.7	0	0.00	400.0	0.00	0.00	1.46	33.2	0.36	336.22	421.4	1.05

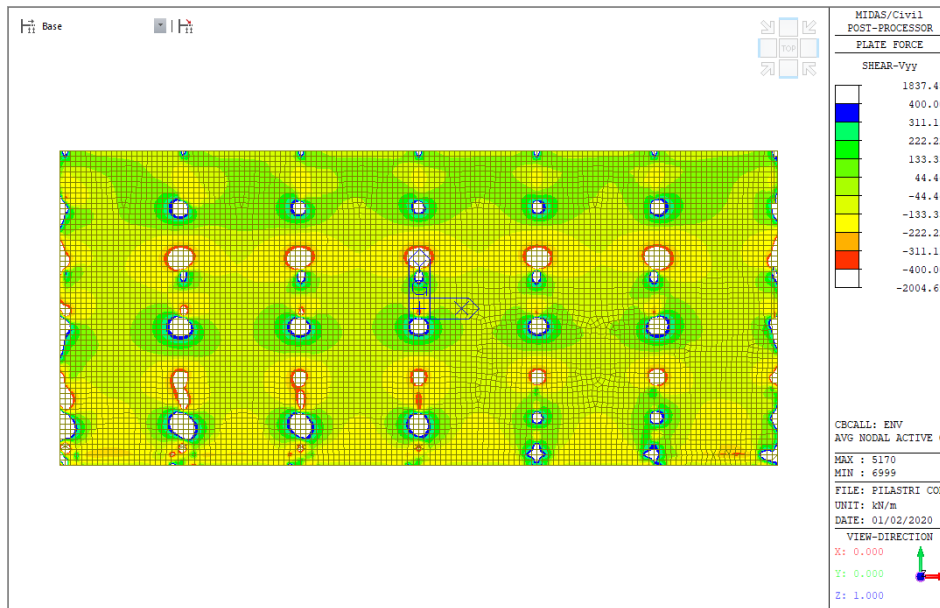


Figura 44 – Taglio resistente elementi non armati a taglio $V_{Rct,yy}$

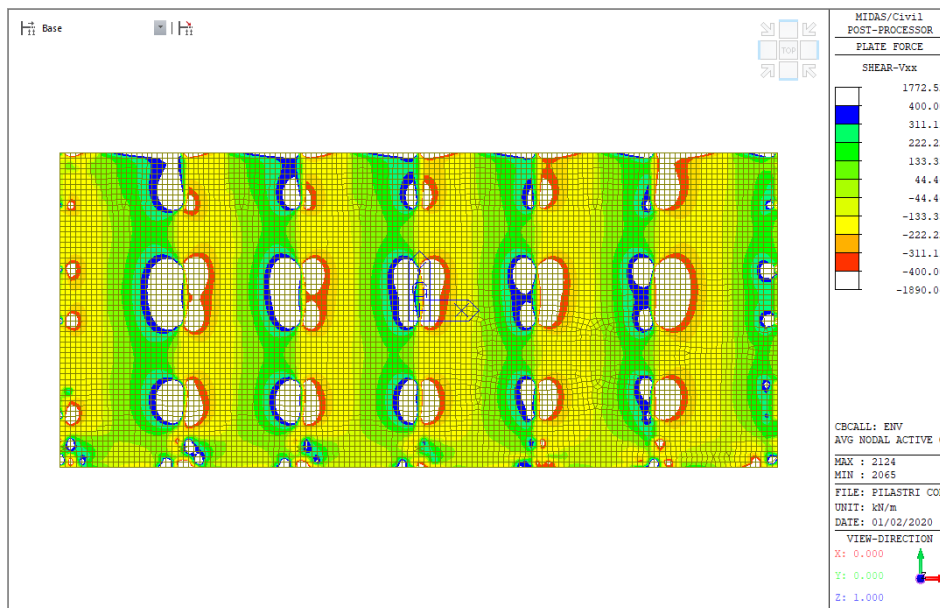


Figura 45 – Taglio resistente elementi non armati a taglio $V_{Rct,xx}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

Nelle zone di competenza delle pareti (circa 6m centrati rispetto all'asse della parete) si prevede di disporre invece una armatura a taglio costituita da spilli $\Phi 12/15 \times 30 \text{cm}$:

Elemento	Armature trasversali						Inclinazione Bielle Compresse				Taglio Compressione				Taglio Trazione		Vrd	F.S.
	n_b	\emptyset	P (cm)	A_{sw} (mm ²)	a°	ω^{sw}	$\cotg\theta^*$	$\theta^* \text{ }^\circ$	$\theta^\circ \text{ cal}$	$\cotg\theta$	σ_{cp} (Mpa)	a_c	f_{cd} (Mpa)	V_{Rcd} (KN)	V_{Rsd} (KN)			
SOLETTA	6.0	12.0	30	678.58	90	0.05	2.972	18.599	21.80	2.50	0.00	1.00	8.70	2758.75	1881.97	1881.97	1.18	

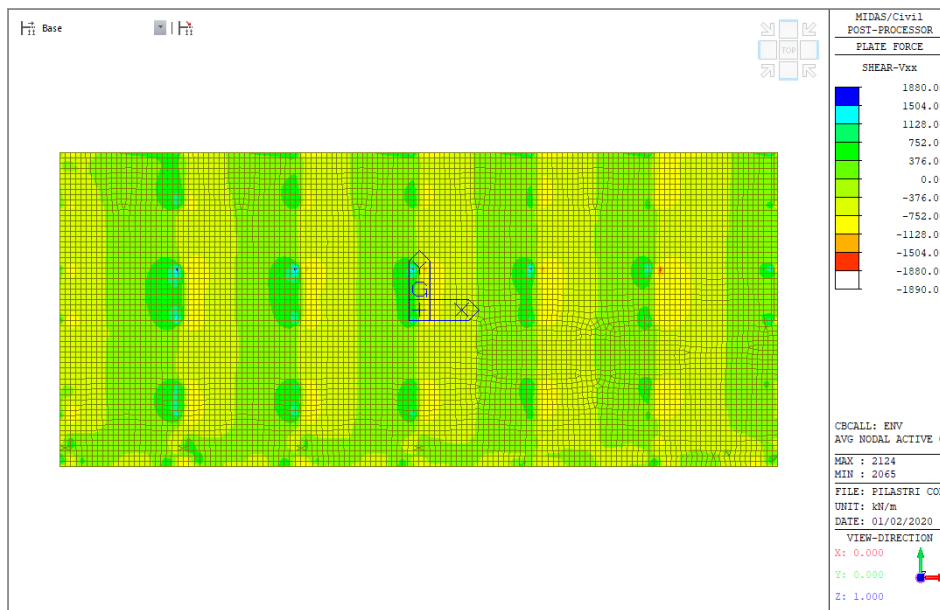


Figura 46 – Taglio resistente spilli $\Phi 12/15 \times 30 \text{cm}$ $V_{Rcd,yy}$

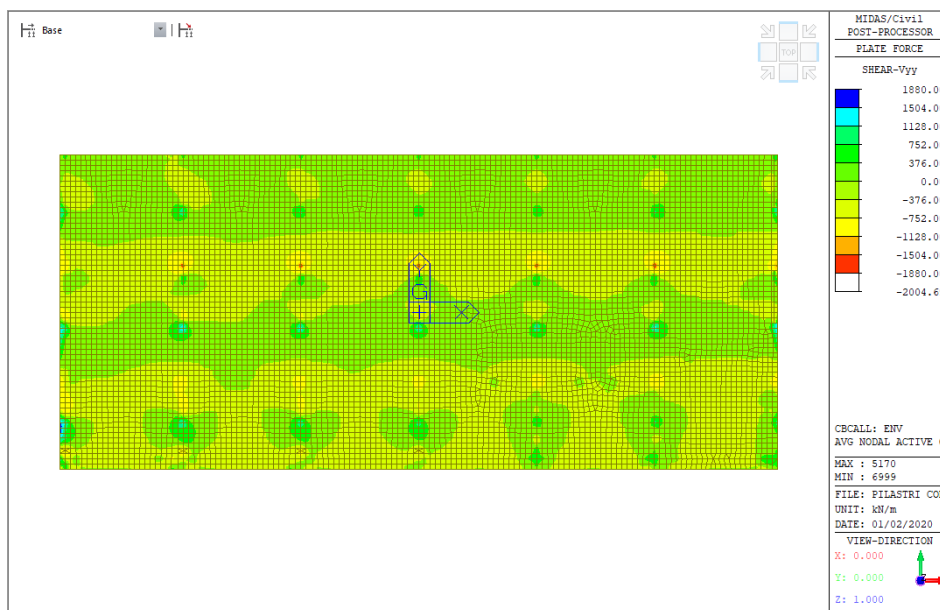


Figura 47 – Taglio resistente spilli $\Phi 12/15 \times 30 \text{cm}$ $V_{Rcd,xx}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

12.2 Verifiche pareti verticali

Le sollecitazioni massime agenti sulle pareti verticali (escludendo i picchi tensionali) sono le seguenti:

12.2.13 Setti spessore 1.0 m

Le pareti sono soggette a pressoflessione deviata dove il valore del momento flettente fuori dal piano attorno all'asse locale x è dato da M_{yy} . Mentre il momento nel piano "Mz", che genera cioè l'inflessione attorno all'asse locale z uscente dal setto, non è restituito dal software ma si può ricavare attraverso le formule di Navier note le F_{yy} massime e minime alla base del setto:

$$F_{yy,max} = N/A + Mz/W$$

$$F_{yy,min} = N/A - Mz/W$$

Nel caso in esame per il setto maggiormente sollecitato (sezione di base: $b=1m$, $h=5m$) restituisce i seguenti valori di Mz e N:

b	1	m
h	5	m
A	5	m ²
W	4.17	m ³

$F_{yy,max}$	13500	kPa
$F_{yy,min}$	-17000	kPa

Mz	63542	kNm
N	-8750	kN
M_{yy}	10500	kNm

(Valutato a partire da un momento per unità di lunghezza pari a $M_{yy}=2100$ kNm/m)

Il taglio associato a momento Mz è pari a: $V_z = Mz/H = 12338.2$ kN dove $H=5.15m$.

Si prevede di disporre in direzione verticale una armatura $\Phi 26/10cm$ sia superiormente che inferiormente. Tale armatura viene disposta in doppio strato nelle zone di estremità dei setti (1.50m). Mentre in direzione orizzontale si dispone una armatura pari a $\Phi 20/15cm$ sia superiormente che inferiormente (pari a circa 1/3 di quella verticale). L'armatura orizzontale per garantire il soddisfacimento delle verifiche a taglio V_z , viene opportunamente ripiegata a modo di staffone perimetrale di parete (staffe a 2 bracci $\Phi 20/15$). Pertanto si ha:

Geometrie			Armature trasversali						Inclinazione Bielle Compresse					Taglio Compressione				Taglio Trazione	Risultati Verifica a Taglio	
b_w (cm)	H (cm)	c (cm)	d_b	\emptyset	p (cm)	α°	α^{rad}	ω^{sw}	$\cotg\theta^*$	$\theta^* \circ$	θ° cal	θ^{rad}	$\cotg\theta$	σ_{cp} (Mpa)	α_c	f_{cd} (Mpa)	V_{Rcd} (KN)	V_{Rsd} (KN)	V_{rd}	γ_c (V_{rd}/V_{sd})
100	500	6	2.0	20.0	15	90	1.57	0.09	2.280	23.686	23.69	0.413	2.28	1.50	1.08	9.41	16629.10	16629.10	16629.10	1.42

I risultati ottenuti sono i seguenti:

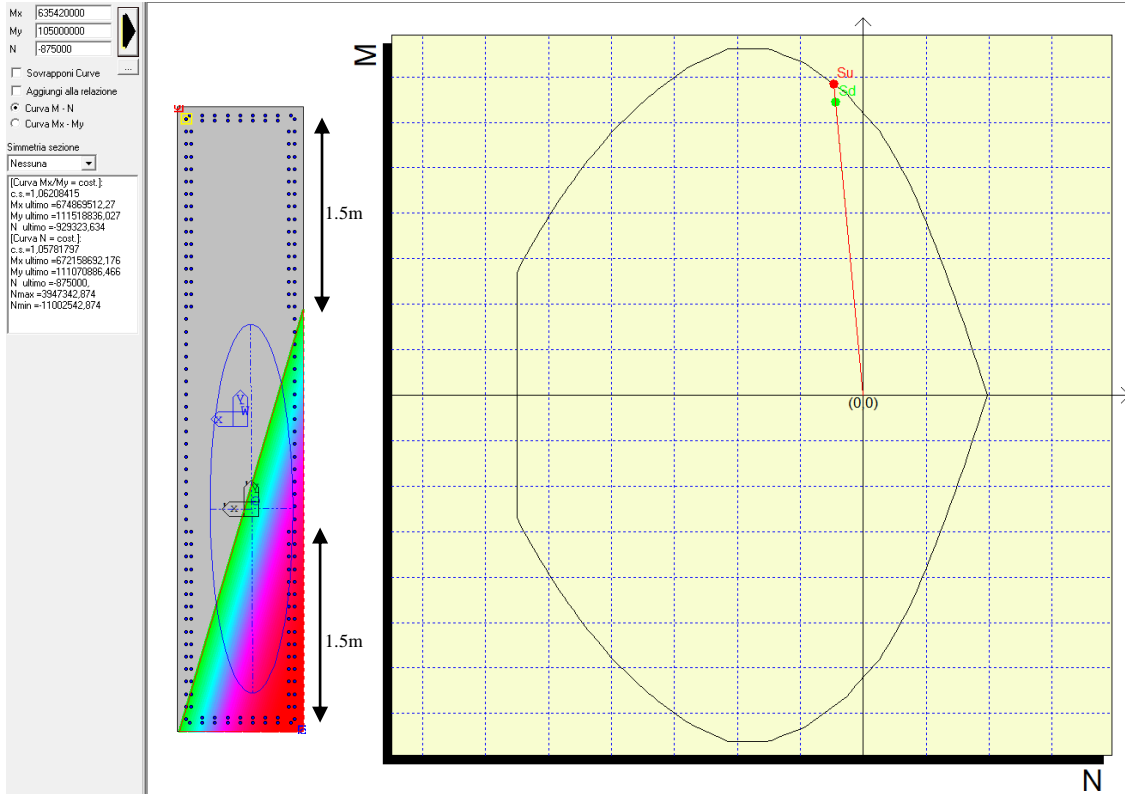


Figura 48 – Momento resistente armature in direz.verticale setto (F.S.=1.05 – con N=-8750 kN)

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche a taglio ed in particolare per le sollecitazioni V_{xx} e V_{yy} .

$V_{xx}=620$ kN/m Taglio orizzontale max per unità di lunghezza nella direzione dello spessore (z) nel piano locale x,z

$V_{yy}=1200$ kN/m Taglio orizzontale max per unità di lunghezza nella direzione dello spessore (z) nel piano locale y,z

Come mostrato in Figura 49, per il soddisfacimento delle verifiche a taglio V_{xx} gli elementi sono verificati in assenza di armatura a taglio.

Elemento	Armatura long. tesa			Sollecitazioni di Calcolo			Taglio Resistente Elementi Senza Armatura A Taglio							
	n	Ø	mm ²	Nsd (kN)	v	Vsd (kN)	σ_{cp} (Mpa)	ρ_l	k	f_{cK} (Mpa)	v_{min}	$V_{Rd\ min}$ (kN)	V_{Rct} (kN)	c (Vrd/Vsd)
PARETE 1m	10	26	5309.3	8750	0.40	620	3.76	0.00	1.46	33.2	0.36	869.6	972.03	1.57

Mentre per le verifiche nei confronti del taglio V_{yy} è necessaria necessaria una armatura a taglio costituita da spilli $\Phi 12/20 \times 20$ cm (Figura 50).

Elemento	Armature trasversali						Inclinazione Bielle Compresse				Taglio Compressione				Taglio Trazione		F.S.
	n_b	Ø	p (cm)	A_{sw} (mm ²)	α°	ω^{sw}	cotg θ^*	$\theta^* \circ$	θ° cal	ctg θ	σ_p (Mpa)	α_c	f_{cd} (Mpa)	V_{Rcd} (KN)	V_{Rsd} (KN)	V_{rd}	
PARETE 1m	5	12.0	20	565.5	90	0.06	3.10	17.86	21.80	2.50	7.50	1.25	9.41	3448.4	2352.5	2352.5	1.96

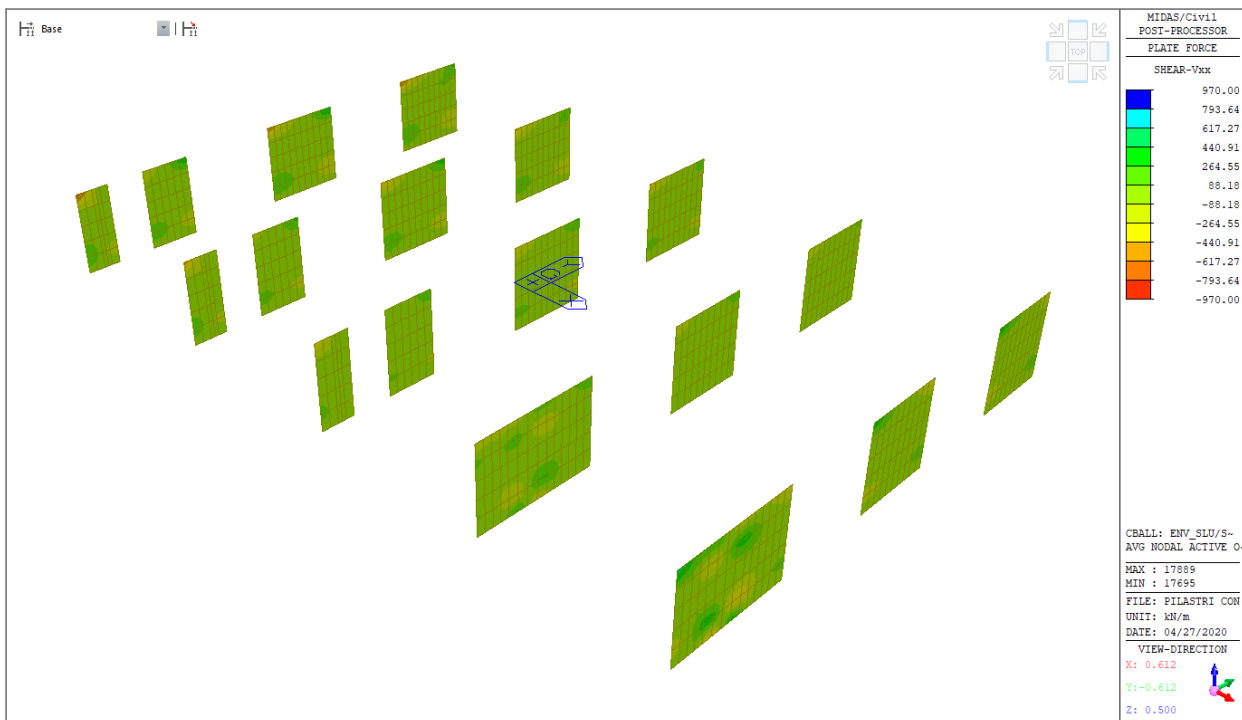


Figura 49 – Taglio resistente elementi non armati a taglio $V_{Rct,xx}$

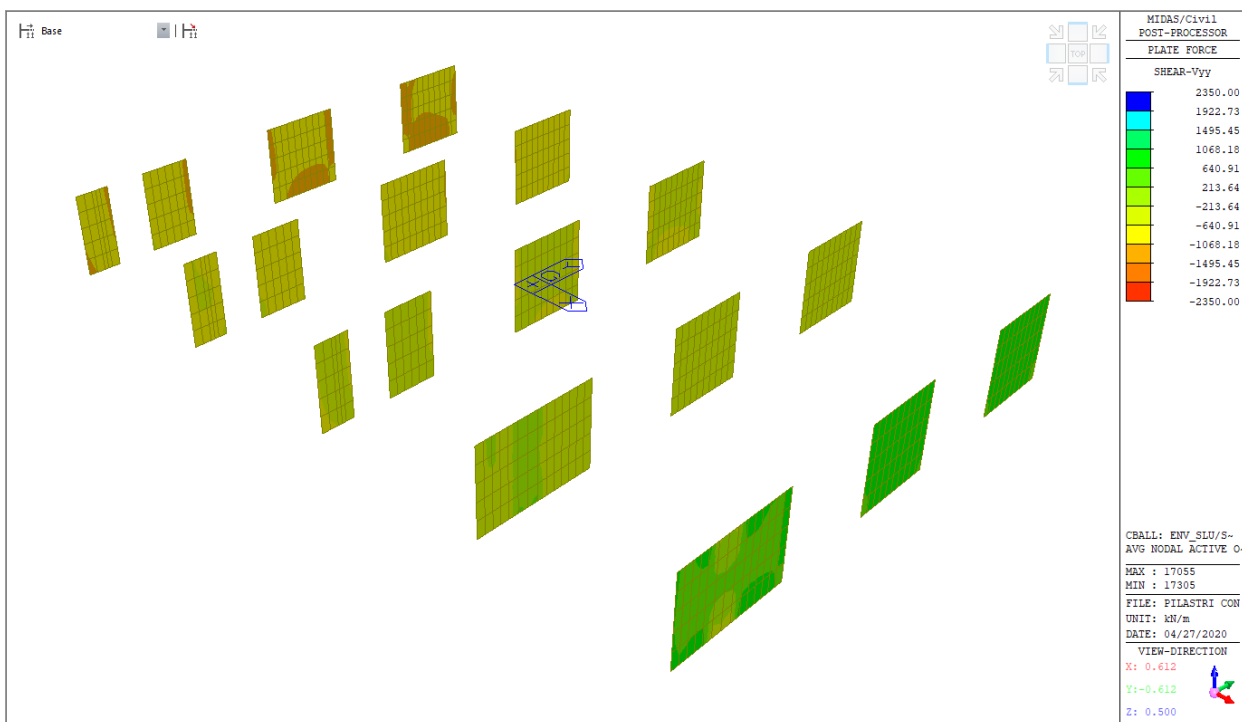


Figura 50 – Taglio resistente elementi armati a taglio $V_{Rd,yy}$

In definitiva si adottano spilli $\Phi 12/20 \times 20$ cm nello spessore della parete.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

12.2.2Setti spessore 0.7 m

Le pareti sono soggette a pressoflessione deviata dove il valore del momento flettente fuori dal piano attorno all'asse locale x è dato da M_{yy} . Mentre il momento nel piano "Mz", che genera cioè l'inflessione attorno all'asse locale z uscente dal setto, non è restituito dal software ma si può ricavare attraverso le formule di Navier note le F_{yy} massime e minime alla base del setto:

$$F_{yy,max} = N/A + Mz/W$$

$$F_{yy,min} = N/A - Mz/W$$

Nel caso in esame per il setto maggiormente sollecitato (sezione di base: $b=0.7m$, $h=5m$) restituisce i seguenti valori di Mz e N :

b	0.7	m
h	5	m
A	3.5	m ²
W	2.92	m ³

$F_{yy,max}$	6500	kPa
$F_{yy,min}$	-7500	kPa

Mz	20417	kNm
N	-1750	kN
M_{yy}	5500	kNm

(Valutato a partire da un momento per unità di lunghezza pari a $M_{yy}=1100$ kNm/m)

Il taglio associato a momento Mz è pari a: $V_z = Mz/H = 3964.5$ kN dove $H=5.15m$.

Si prevede di disporre in direzione verticale una armatura $\Phi 26/10cm$ sia superiormente che inferiormente. Tale armatura viene disposta in doppio strato nelle zone di estremità dei setti (1.50m). Mentre in direzione orizzontale si dispone una armatura pari a $\Phi 20/15cm$ sia superiormente che inferiormente (pari a circa 1/3 di quella verticale). L'armatura orizzontale per garantire il soddisfacimento delle verifiche a taglio V_z , viene opportunamente ripiegata a modo di staffone perimetrale di parete (staffe a 2 bracci $\Phi 20/15$). Pertanto si ha:

Geometrie			Armature trasversali						Inclinazione Bielle Compresse					Taglio Compressione				Taglio Trazione	Risultati Verifica a Taglio	
b_w (cm)	H (cm)	c (cm)	n_b	\emptyset	p (cm)	α°	α^{rad}	ω^{sw}	$\cotg\theta^*$	θ^*°	θ° cal	θ^{rad}	$\ctg\theta$	σ_{cp} (Mpa)	α_c	f_{cd} (Mpa)	V_{Rcd} (KN)	V_{Rsd} (KN)	V_{rd}	γ_c (V_{rd}/V_{sd})
70	500	6	2.0	20.0	15	90	1.57	0.12	1.767	29.50	29.50	0.515	1.77	0.50	1.03	9.41	12893.48	12893.48	12893.48	3.25

I risultati ottenuti sono i seguenti:

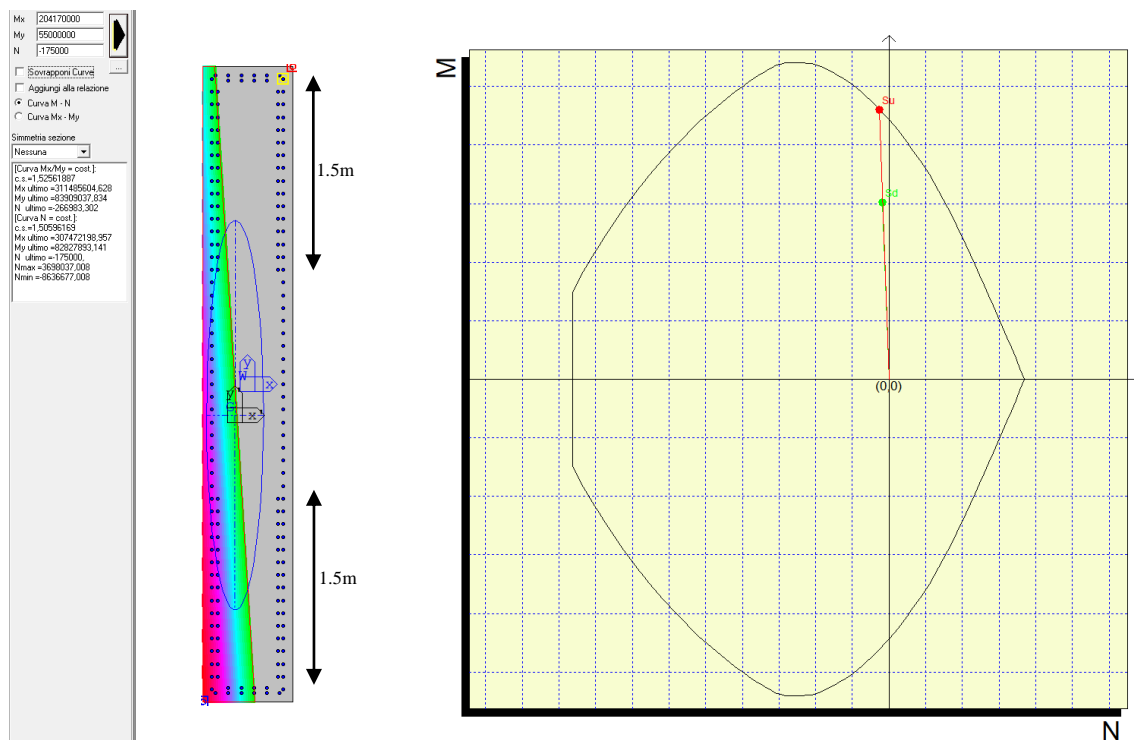


Figura 51 – Momento resistente armature verticali setto (F.S.=1.51 – con N=-1750 kN)

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche a taglio ed in particolare per le sollecitazioni V_{xx} e V_{yy} .

$V_{xx}=600$ kN/m Taglio orizzontale max per unità di lunghezza nella direzione dello spessore (z) nel piano locale x,z

$V_{yy}=600$ kN/m Taglio orizzontale max per unità di lunghezza nella direzione dello spessore (z) nel piano locale y,z

Come mostrato in Figura 52 e Figura 53, per il soddisfacimento delle verifiche a taglio gli elementi sono verificati in assenza di armatura a taglio ad eccezione di alcuni picchi tensionali:

Elemento	Armatura long. tesa			Sollecitazioni di Calcolo			Taglio Resistente Elementi Senza Armatura A Taglio							
	n	Ø	mm ²	Nsd (kN)	v	Vsd (kN)	σ'_{cp} (Mpa)	ρ_l	k	f_{cK} (Mpa)	v_{min}	$V_{Rd\ min}$ (kN)	V_{Rct} (kN)	c (Vrd/Vsd)
PARETE 0.7m	10	26	5309.3	1750	0.08	600	2.50	0.01	1.56	33.2	0.39	494.55	604.43	1.01

Tuttavia essendo il coefficiente di sicurezza prossimo all'unità si prevede di disporre nelle zone terminali una armatura a taglio costituita da spilli $\Phi 12/20 \times 20$ cm.

Elemento	Armature trasversali						Inclinazione Bielle Compresse				Taglio Compressione				Taglio Trazione		
	n_b	Ø	p (cm)	A_{sw} (mm ²)	a°	ω^{sw}	cotg θ^*	θ^*°	θ° cal	ctg θ	σ_p (Mpa)	a_c	f_{cd} (Mpa)	V_{Rcd} (kN)	V_{Rsd} (kN)	Vrd	F.S.
PARETE 0.7m	5	12.0	20	452.39	90	0.08	2.396	22.651	22.65	0.395	2.40	2.50	1.13	9.41	2254.90	2254.90	3.75

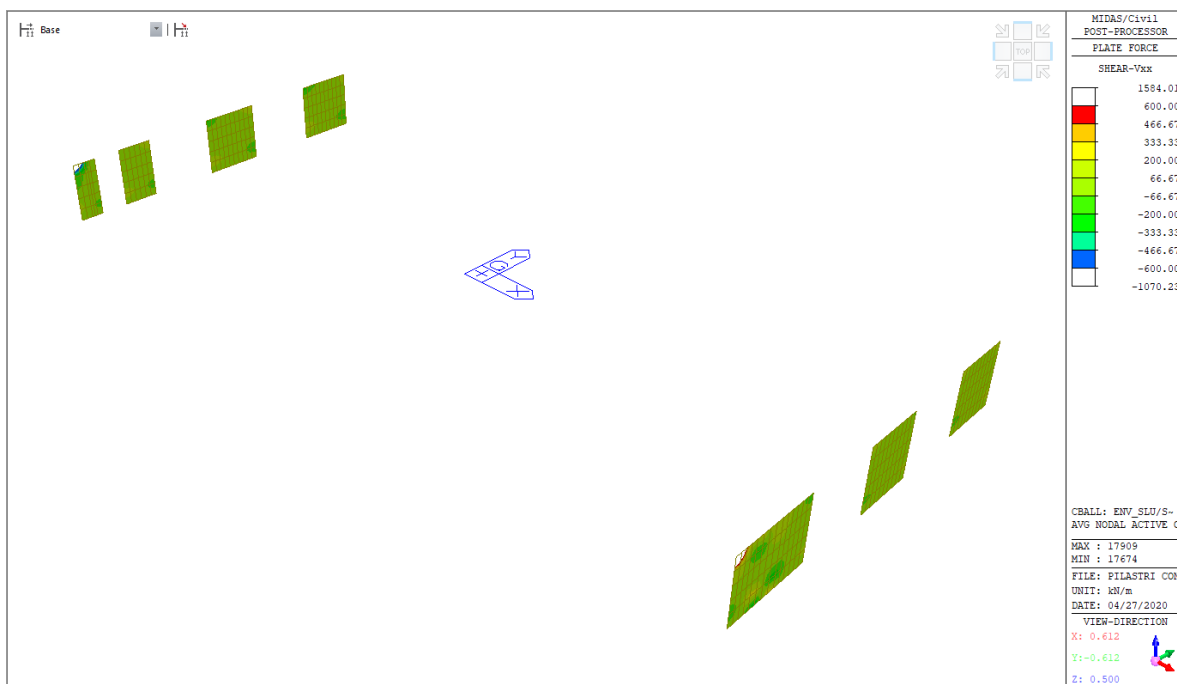


Figura 52 – Taglio resistente elementi non armati a taglio $V_{Rct,xx}$

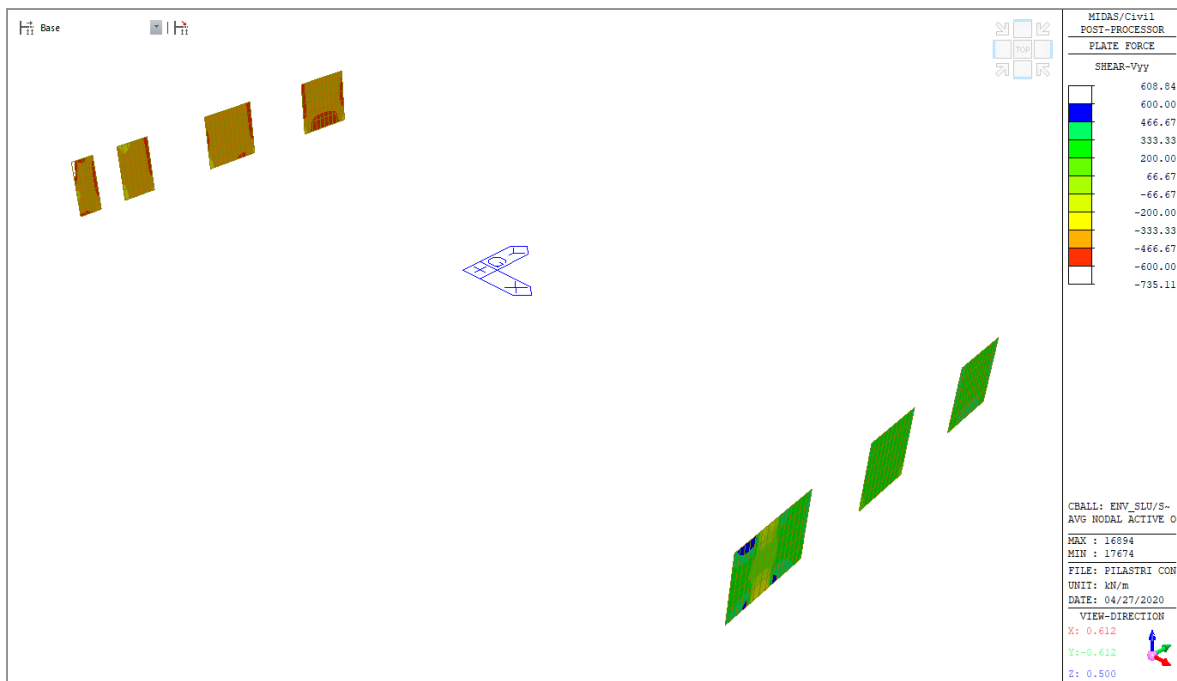


Figura 53 – Taglio resistente elementi armati a taglio $V_{Rct,yy}$

In definitiva si adottano spilli $\Phi 12/20 \times 20$ cm nello spessore della parete.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

13 VERIFICHE ALLO SLE

Le verifiche allo SLE sono state effettuate con l'ausilio del software commerciale Presfle v. 5.18 distribuito dalla Concrete.

13.1 Verifiche solettone superiore

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime allo SLE (involuppo delle combinazioni RARA) utilizzate in fase di verifica.

$M_{xx}^+ = 1000 \text{ kNm/m}$	Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. X)
$M_{xx}^- = 1250 \text{ kNm/m}$	Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. X)
$M_{yy}^+ = 1100 \text{ kNm/m}$	Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. Y)
$M_{yy}^- = 1100 \text{ kNm/m}$	Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. Y)
$F_{xx}=F_{yy}=1000 \text{ kN/m}$	Sforzo normale assunto per le verifiche del solettone superiore nelle due direz. X e Y. (+ Trazione; - Compressione)

Le sollecitazioni sono definite escludendo i picchi tensionali.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

SOLLECITAZIONI MAX SLE		VERIFICA A METRO LINEARE				
M [kNm]	N [kN]	Af	Af'	$\sigma_{C,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	w [mm]
1250	1000	2Φ30/15	Φ30/15	-5.19	206.5	0.170

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

13.2 Verifiche pareti verticali

Le sollecitazioni massime agenti sulle pareti verticali (escludendo i picchi tensionali) sono le seguenti:

13.2.1 Setti spessore 1.0 m

Le pareti sono soggette a pressoflessione deviata dove il valore del momento flettente fuori dal piano attorno all'asse y (longitudinale al setto) è dato da M_{yy} . Mentre il momento nel piano "Mz", che genera cioè l'inflessione attorno all'asse z uscente dal setto, non è restituito dal software ma si può ricavare attraverso le formule di Navier note le F_{yy} massime e minime alla base del setto:

$$F_{yy,max} = N/A + Mz/W$$

$$F_{yy,min} = N/A - Mz/W$$

Nel caso in esame per il setto maggiormente sollecitato (sezione di base: $b=1m$, $h=5m$) restituisce i seguenti valori di Mz e N :

b	1	m
h	5	m
A	5	m ²
W	4.17	m ³

$F_{yy,max}$	7000	kPa
$F_{yy,min}$	-11000	kPa

Mz	37500	kNm
N	-10000	kN
M_{yy}	5000	kNm

(Valutato a partire da un momento per unità di lunghezza pari a $M_{yy}=1000$ kNm/m)

I risultati ottenuti sono i seguenti:

VERIFICA A METRO LINEARE		
$\sigma_{c,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	w [mm]
-15.5	-250.8	0.288

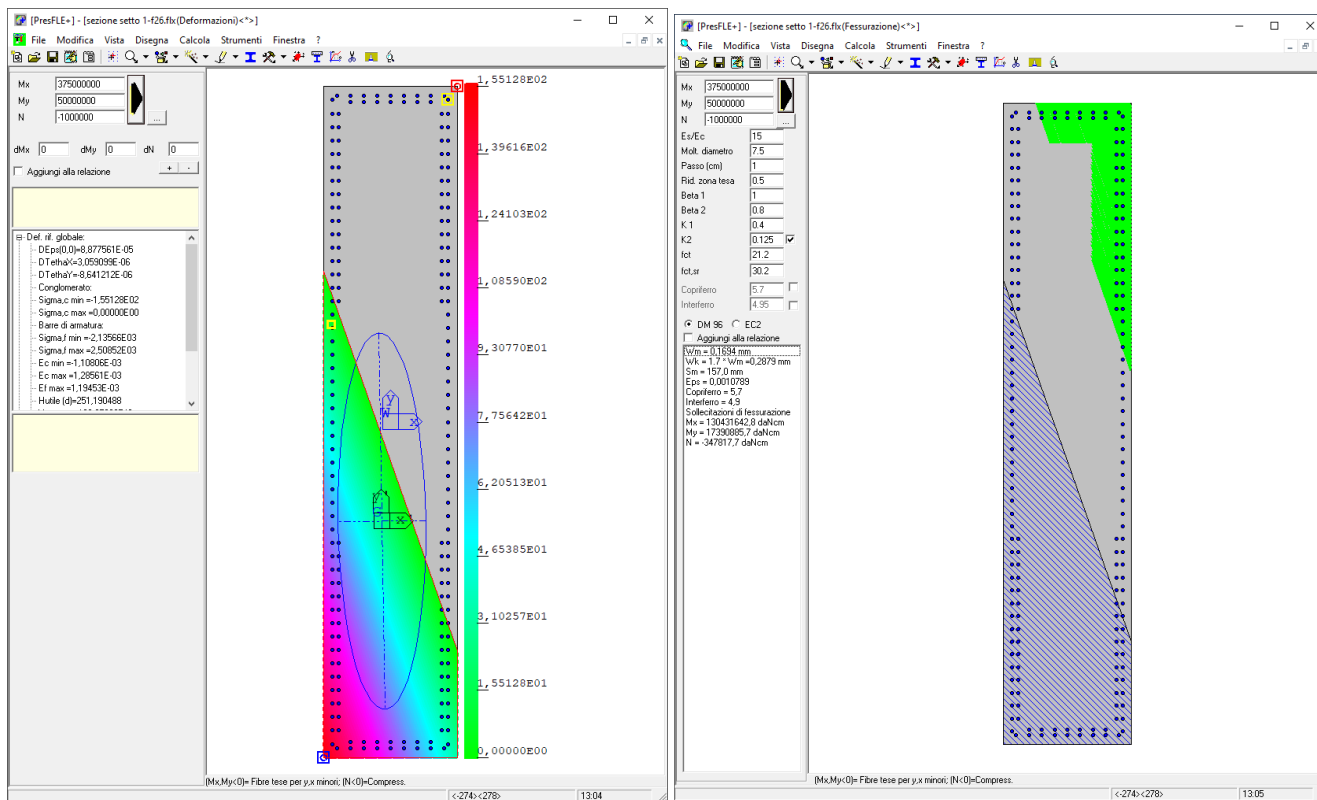


Figura 54 – Diagramma tensioni e apertura fessure

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

13.2.2 Setti spessore 0.70 m

Le pareti sono soggette a pressoflessione deviata dove il valore del momento flettente fuori dal piano attorno all'asse y (longitudinale al setto) è dato da M_{yy} . Mentre il momento nel piano "Mz", che genera cioè l'inflessione attorno all'asse z uscente dal setto, non è restituito dal software ma si può ricavare attraverso le formule di Navier note le F_{yy} massime e minime alla base del setto:

$$F_{yy,max} = N/A + Mz/W$$

$$F_{yy,min} = N/A - Mz/W$$

Nel caso in esame per il setto maggiormente sollecitato (sezione di base: $b=1\text{m}$, $h=5\text{m}$) restituisce i seguenti valori di Mz e N :

b	0.7	m
h	5	m
A	3.5	m ²
W	2.92	m ³

$F_{yy,max}$	3000	kPa
$F_{yy,min}$	-4500	kPa

Mz	10938	kNm
N	-2625	kN
M_{yy}	4000	kNm

(Valutato a partire da un momento per unità di lunghezza pari a $M_{yy}=800\text{ kNm/m}$)

I risultati ottenuti sono i seguenti:

VERIFICA A METRO LINEARE		
$\sigma_{c,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	w [mm]
-11.9	-212.1	0.243

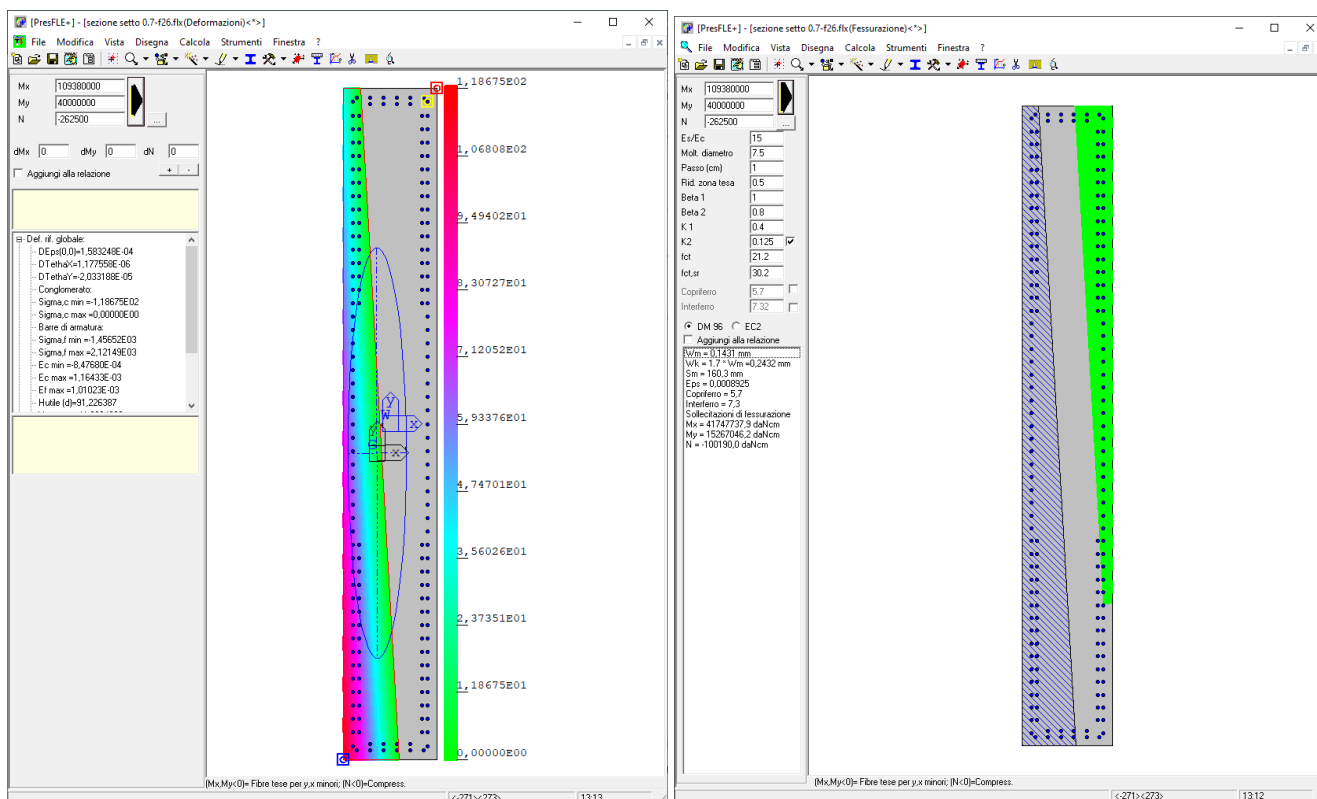


Figura 55 – Diagramma tensioni e apertura fessure

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

14 ANALISI E VERIFICHE FONDAZIONE

Per le analisi e verifiche della fondazione è stato analizzato un secondo modello di calcolo in MIDAS CIVIL andando a modellare alla base dei setti la platea di fondazione al posto degli incastri.

14.1 Modello di Calcolo

La platea è stata modellata come un elemento plate di spessore pari a 1.0m. Per simulare l'iterazione con il terreno sono stati introdotti dei vincoli alla winkler con rigidità $k_w=2000 \text{ kN/m}^3$.

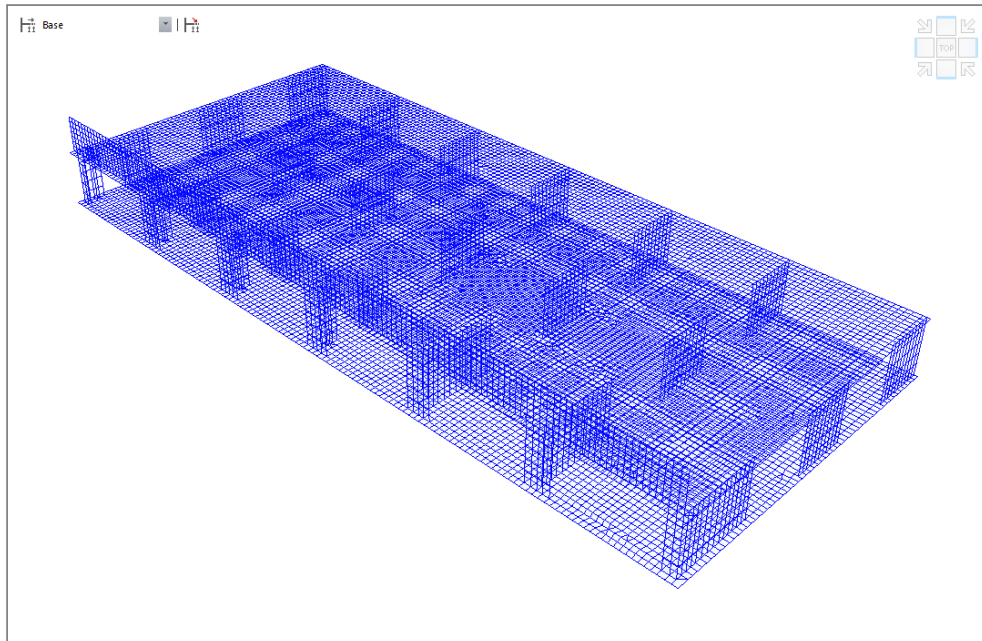


Figura 56 - Modello FEM

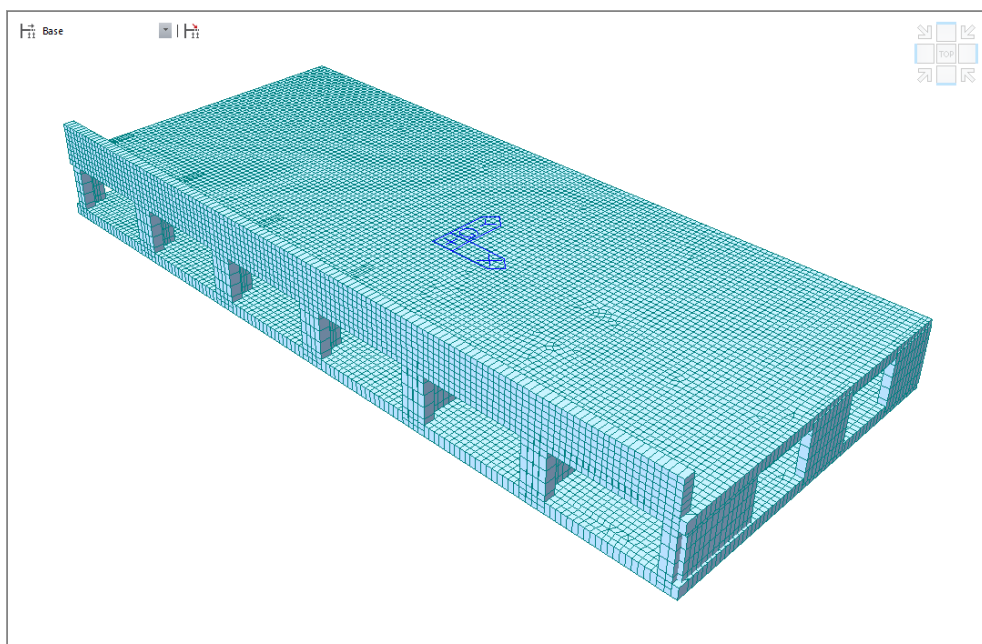


Figura 57 - Modello vista estrusa

14.2 Sollecitazioni Env_SLU-SLV

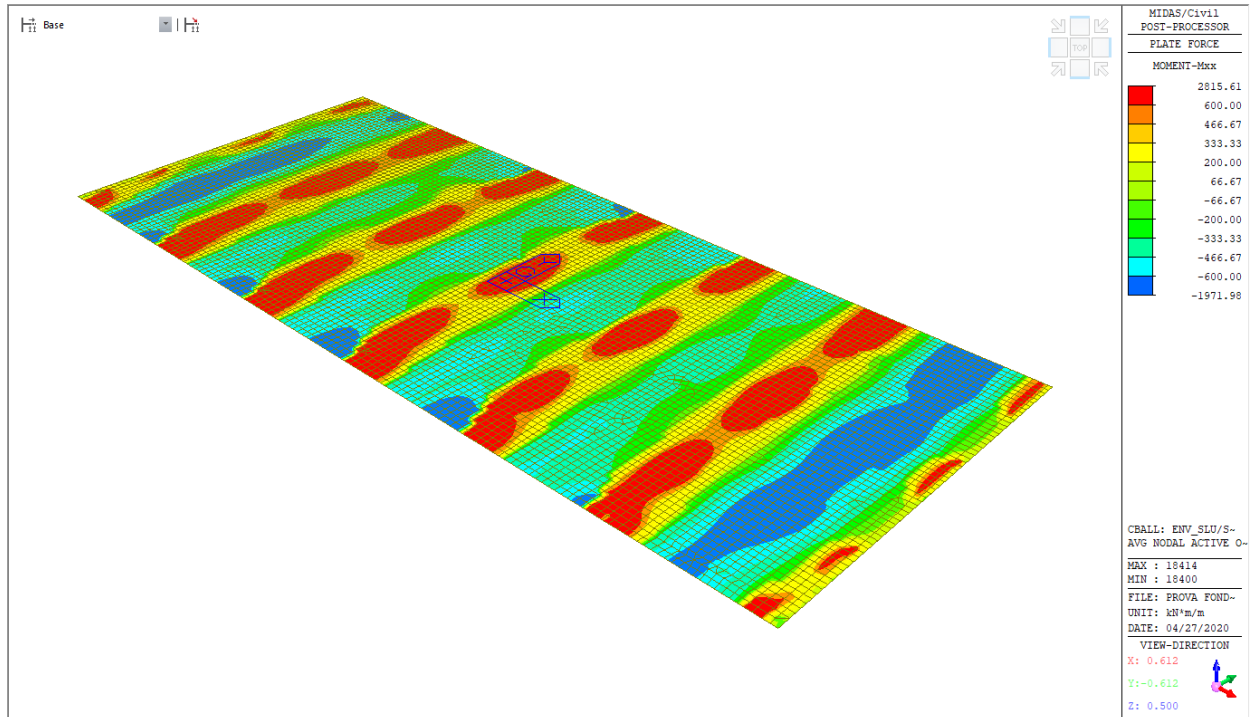


Figura 58 – Momento Mxx [kNm/m]

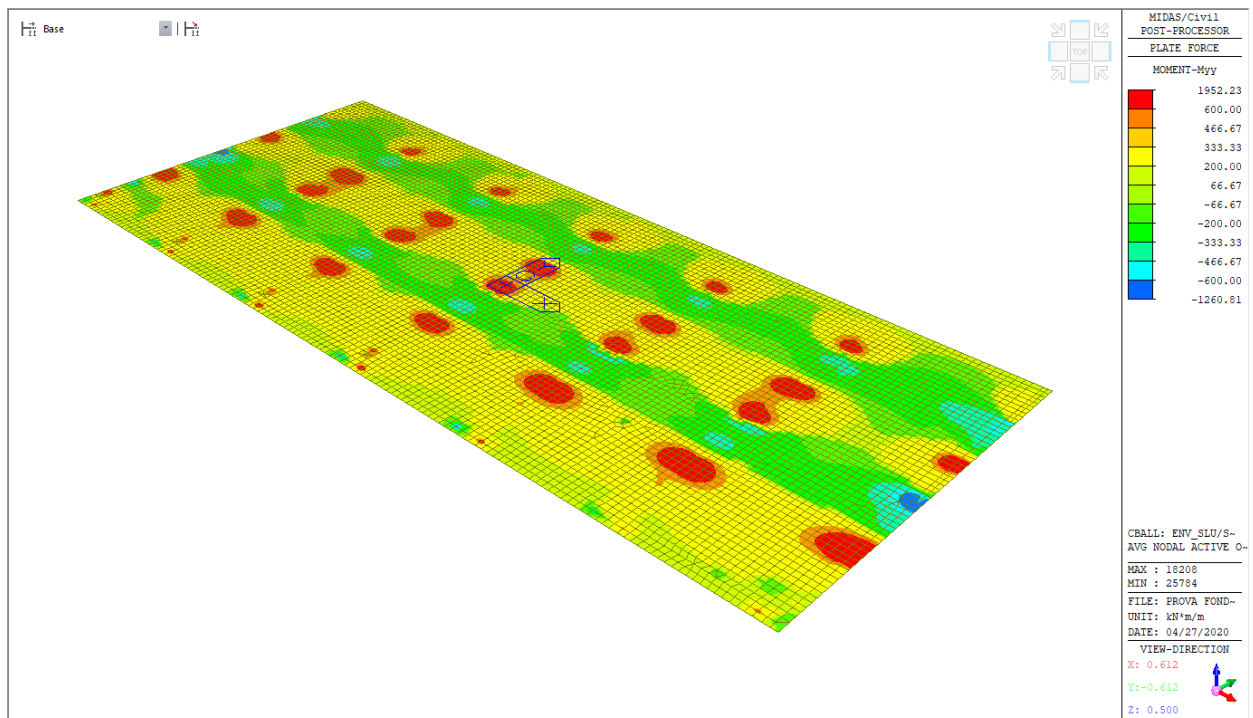


Figura 59 – Momento Myy [kNm/m]

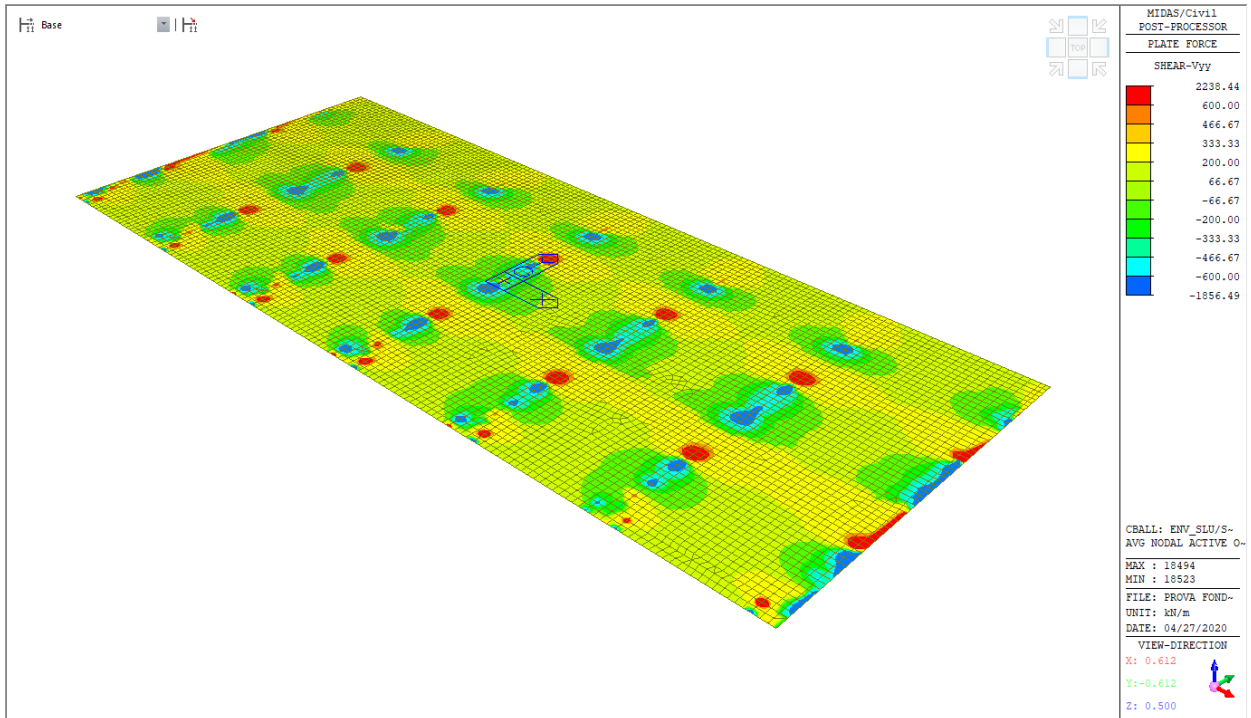


Figura 60 – Soletta - taglio Vyy [kN/m]

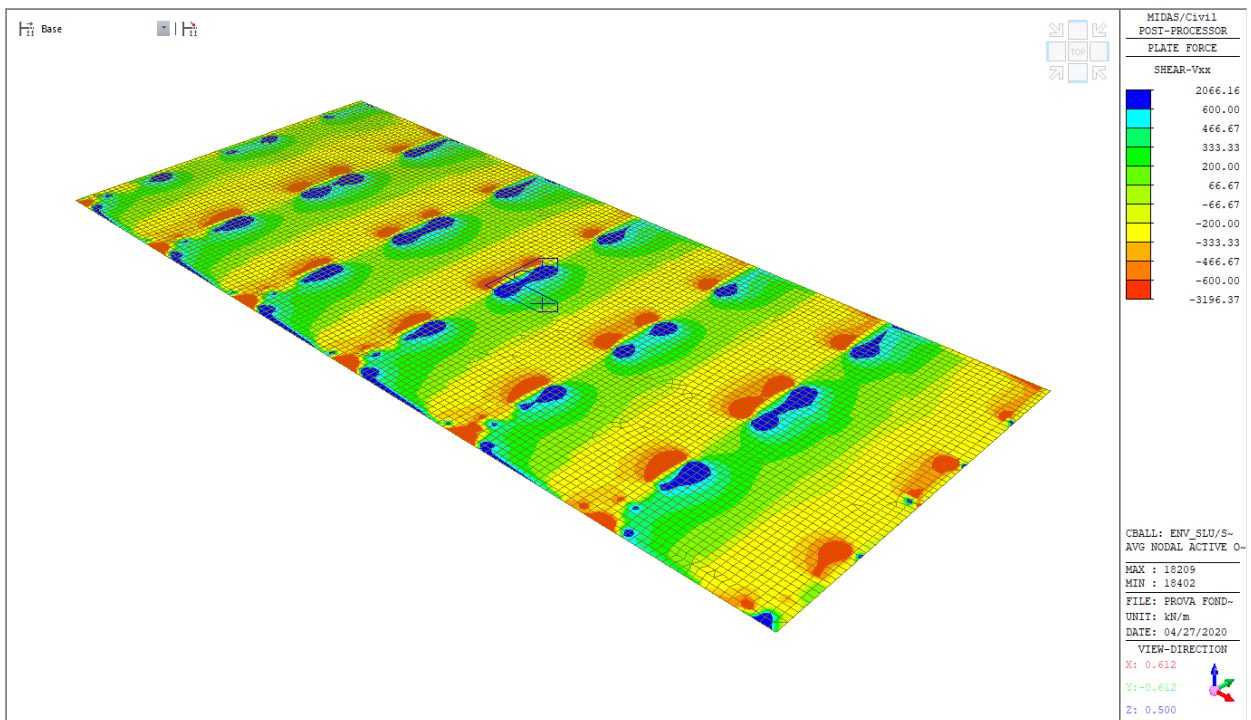


Figura 61 – Soletta - taglio Vxx [kN/m]

14.3 Sollecitazioni Env_SLE

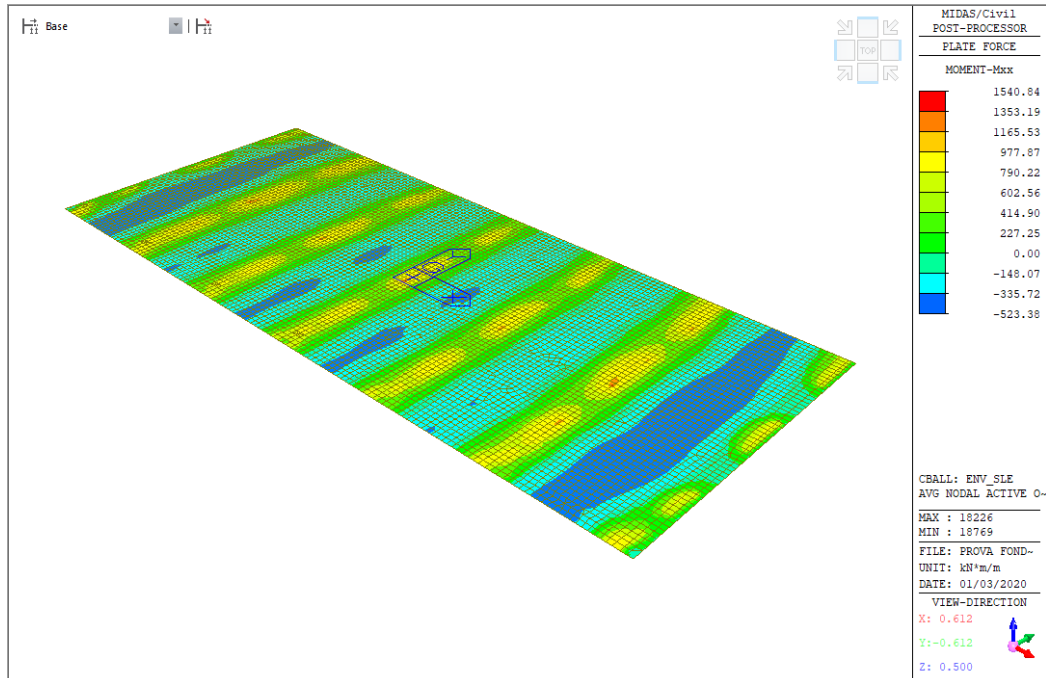


Figura 62 – Momento Mxx [kNm/m]

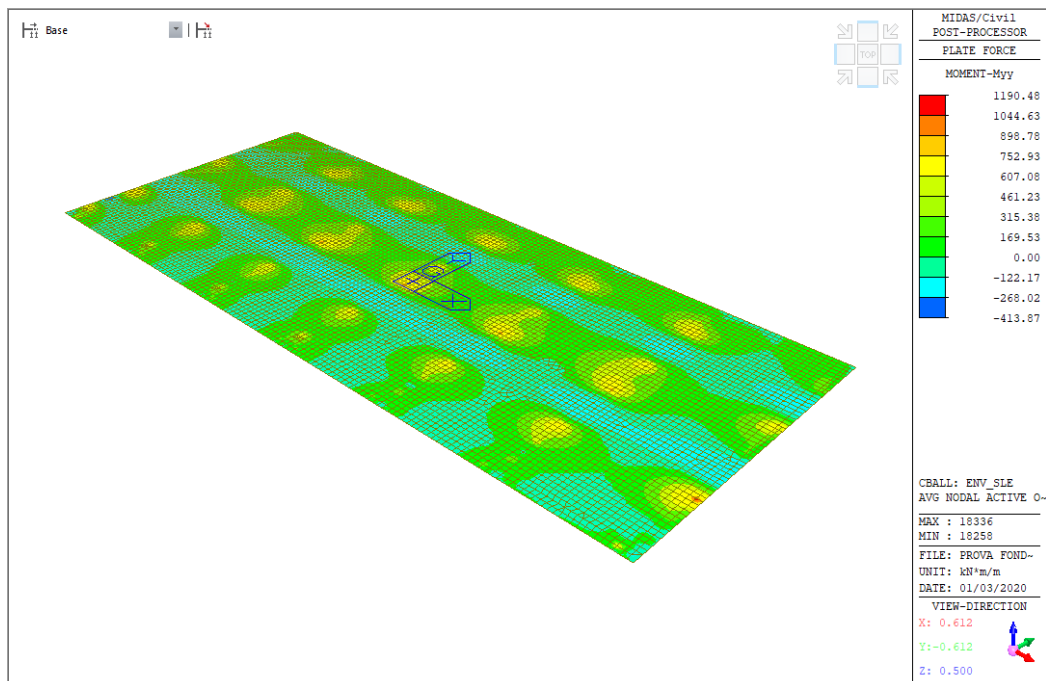


Figura 63 – Momento Myy [kNm/m]

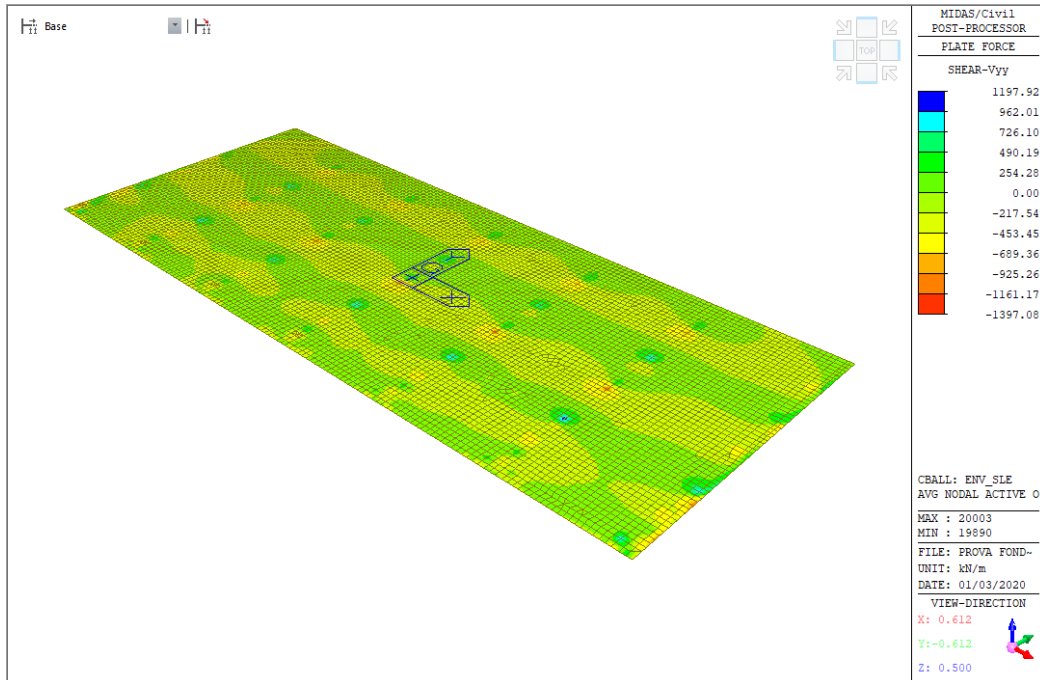


Figura 64 – Soletta - taglio Vyy [kN/m]

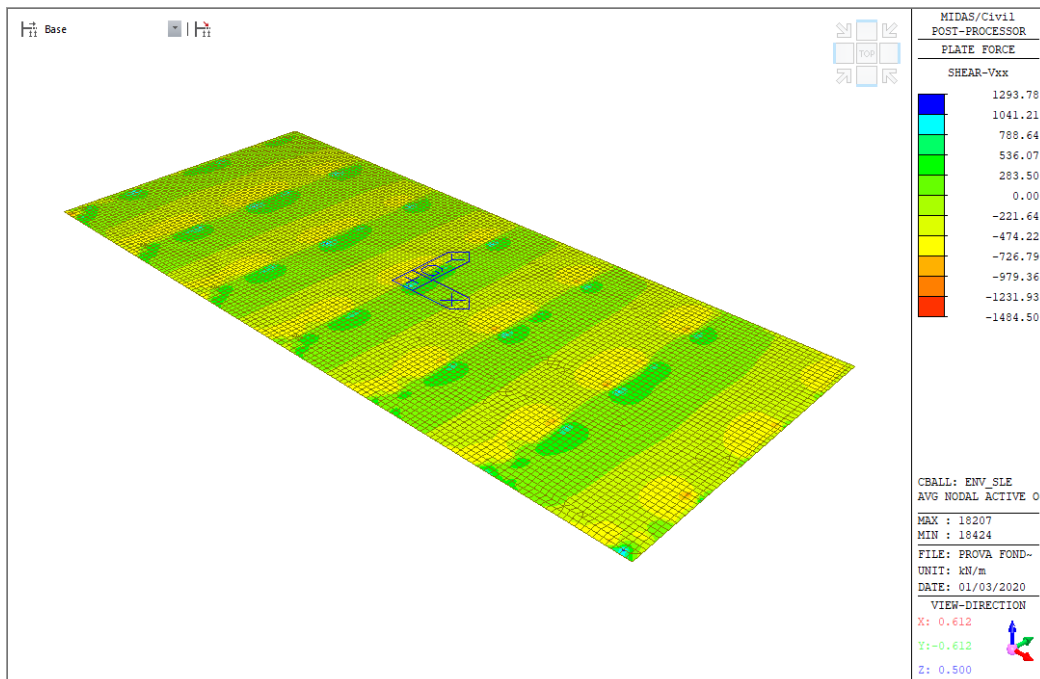


Figura 65 – Soletta - taglio Vxx [kN/m]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

14.4 Riepilogo sollecitazioni

Le sollecitazioni massime agenti sul solettone inferiore (escludendo i picchi tensionali) sono le seguenti:

SLU

$M_{xx}^+ = 2000 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. X)

$M_{xx}^- = 1200 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. X)

$M_{yy}^+ = 1500 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. Y)

$M_{yy}^- = 750 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. Y)

$F_{xx}=F_{yy}=0 \text{ kN/m}$ Sforzo normale assunto per le verifiche del solettone nelle due direz. X e Y. (+ Trazione; - Compressione)

$V_{xx}=1700 \text{ kN/m}$ Taglio massimo in direz. loc. z per unità di lunghezza in dir. loc. x nel solettone superiore

$V_{yy}=1500 \text{ kN/m}$ Taglio massimo in direz. loc. z per unità di lunghezza in dir. loc. y nel solettone superiore

SLE

$M_{xx}^+ = 1000 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. X)

$M_{xx}^- = 520 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. y per unità di lunghezza in direz. loc.x (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. X)

$M_{yy}^+ = 800 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo positivo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature inferiori in direz. Y)

$M_{yy}^- = 410 \text{ kNm/m}$ Momento flettente massimo negativo intorno all'asse loc. x per unità di lunghezza in direz. loc.y (per il dimensionamento delle armature superiori in direz. Y)

$F_{xx}=F_{yy}=0 \text{ kN/m}$ Sforzo normale assunto per le verifiche del solettone nelle due direz. X e Y. (+ Trazione; - Compressione)

14.5 Verifiche Strutturali

14.5.1 Verifiche allo SLU

Si prevede di disporre in entrambe le direzioni (direzione X e direzione Y) armatura $\Phi 30/15\text{cm}$ sia superiormente che inferiormente ad eccezione che per la zona di competenza dei pilastri dove unicamente in direzione X si prevede di disporre un secondo strato di armatura superiore $\Phi 30/30\text{cm}$.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Elemento	Geometrie					Calcestruzzo					Acciaio		
	b_w (cm)	H (cm)	c (cm)	d (cm)	$A_c(\text{mm}^2)$	R_{ck} (Mpa)	f_{ck} (Mpa)	γ_c	α_{cc}	f_{cd} (Mpa)	γ_s	f_{yk} (Mpa)	f_{yd} (Mpa)
SOLETTA	100	100	6.0	94.5	1000000	37.0	30.7	1.50	0.85	17.40	1.15	450	391.3

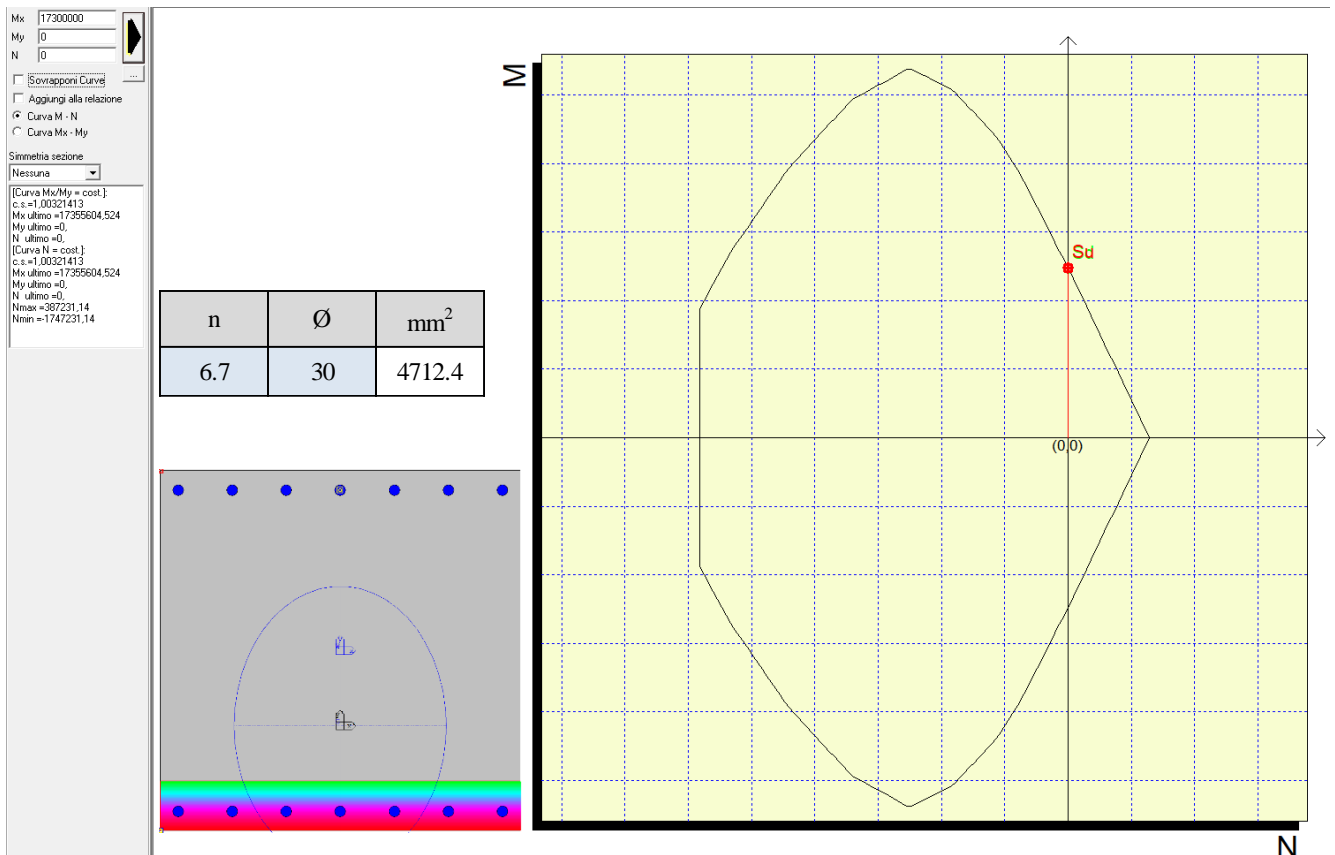


Figura 66 – Momento resistente armature $\Phi 30/15\text{ cm}$: $M_{Rd,xx} = M_{Rd,yy} = 1730\text{ kNm/m}$ (con $N=0\text{ kN}$)

Come specificato in precedenza e come mostrato in Figura 67, in direzione Y, ad eccezione di alcuni picchi tensionali dati dal modello di calcolo a mesh che possono ritenersi trascurabili, l'armatura è soddisfacente. Mentre, come mostrato in Figura 68, in direzione X l'armatura così disposta deve essere incrementata nelle zone di competenza delle pareti verticali (circa 3.5m+ancoraggio stimato in 1,25m per lato. Totale 6 m centrati rispetto all'asse della parete) con un secondo strato di $\Phi 26/30\text{ cm}$ (vedi Figura 69).

Tuttavia per il soddisfacimento delle verifiche allo SLE si dispone il secondo strato in entrambe le direzioni.

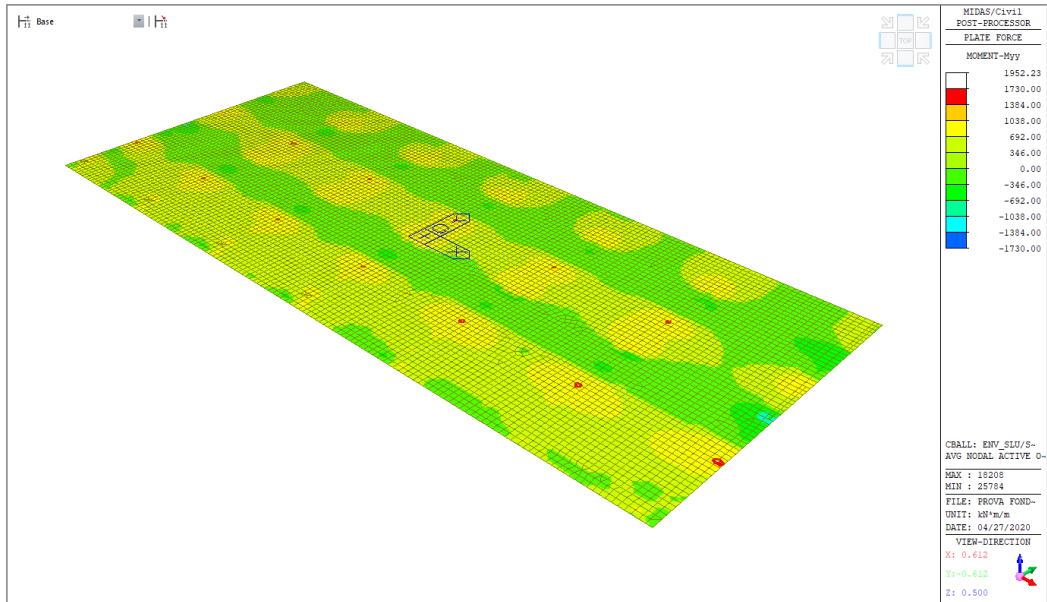


Figura 67 – Momento resistente $M_{Rd,yy}$ armatura $\Phi 30/15$ superiore e inferiore (disposta in direz. Y)

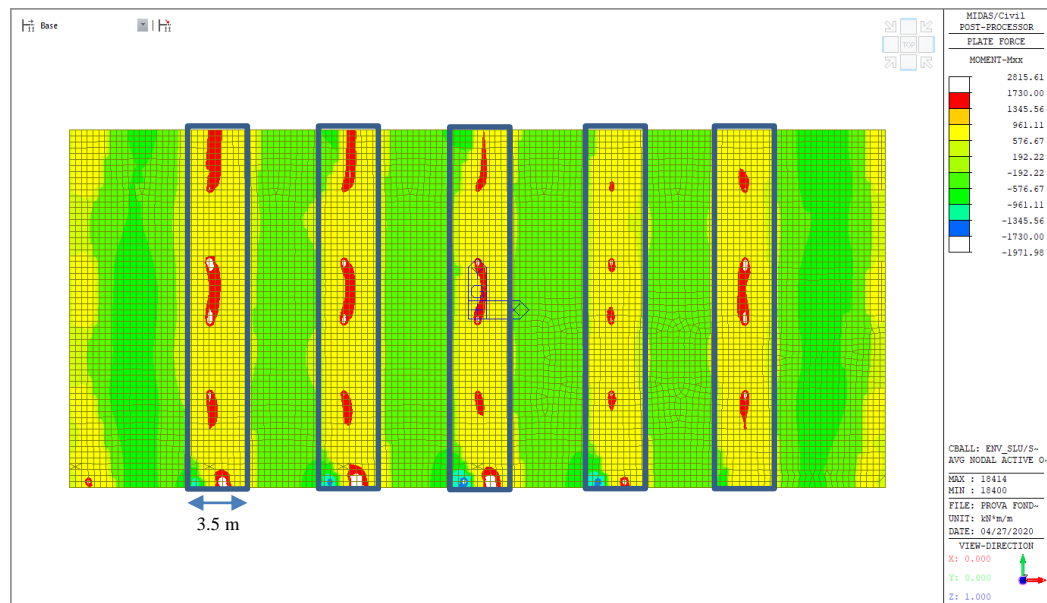


Figura 68 – Momento resistente $M_{Rd,xx}$ armatura $\Phi 30/15$ superiore e inferiore (disposta in direz. X)

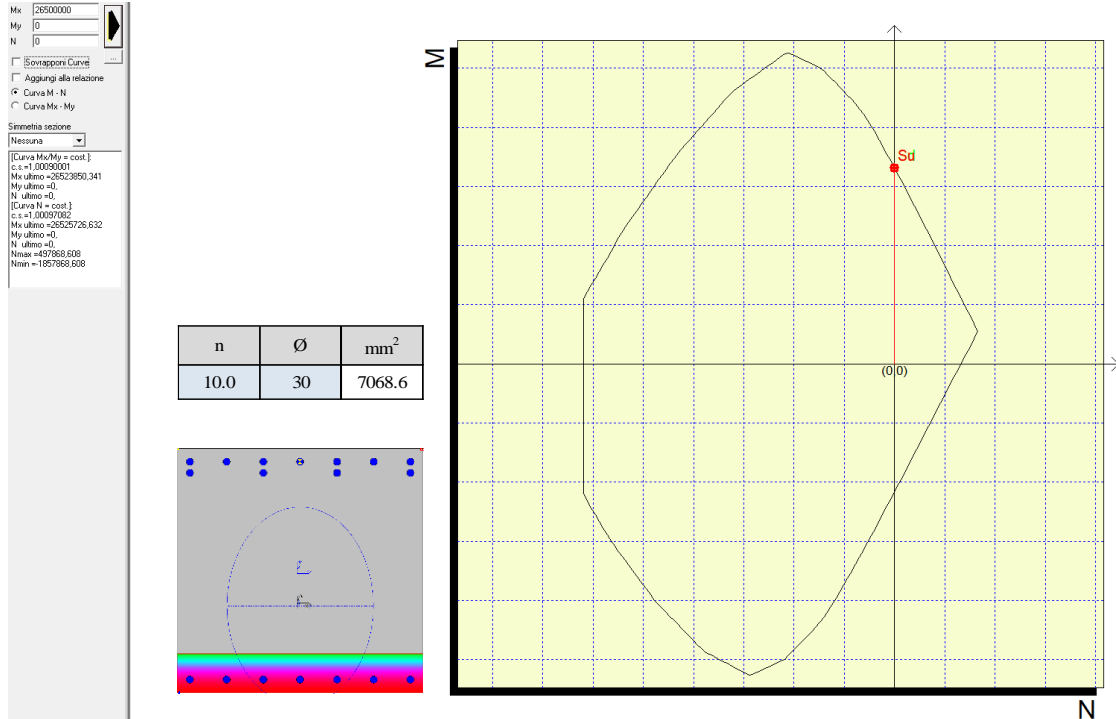


Figura 69 – Momento resistente armature 1Ø30/15 cm+1Ø30/30 cm : $M_{Rd,xx} = M_{Rd,yy} = 2650$ kNm/m (con $N=0$ kN)

Nei riguardi del soddisfacimento delle verifiche a taglio, la soletta ad eccezione che nelle zone in corrispondenza delle pareti è verificato come un elemento non armato a taglio disponendo tuttavia una armatura minima costituita da spilli 6Ø8/mq:

Elemento	Armatura long. tesa			Sollecitazioni di Calcolo			Taglio Resistente Elementi Senza Armatura A Taglio							
	n	Ø	mm ²	Nsd (kN)	v	Vsd (kN)	σ'_{cp} (Mpa)	ρ_l	k	f_{cK} (Mpa)	v_{min}	$V_{Rd min}$ (kN)	V_{Rct} (kN)	c (Vrd/Vsd)
SOLETTA	6.7	26	4736	0	0.00	410	0.00	0.01	1.46	30.7	0.34	323.36	411.5	1.00

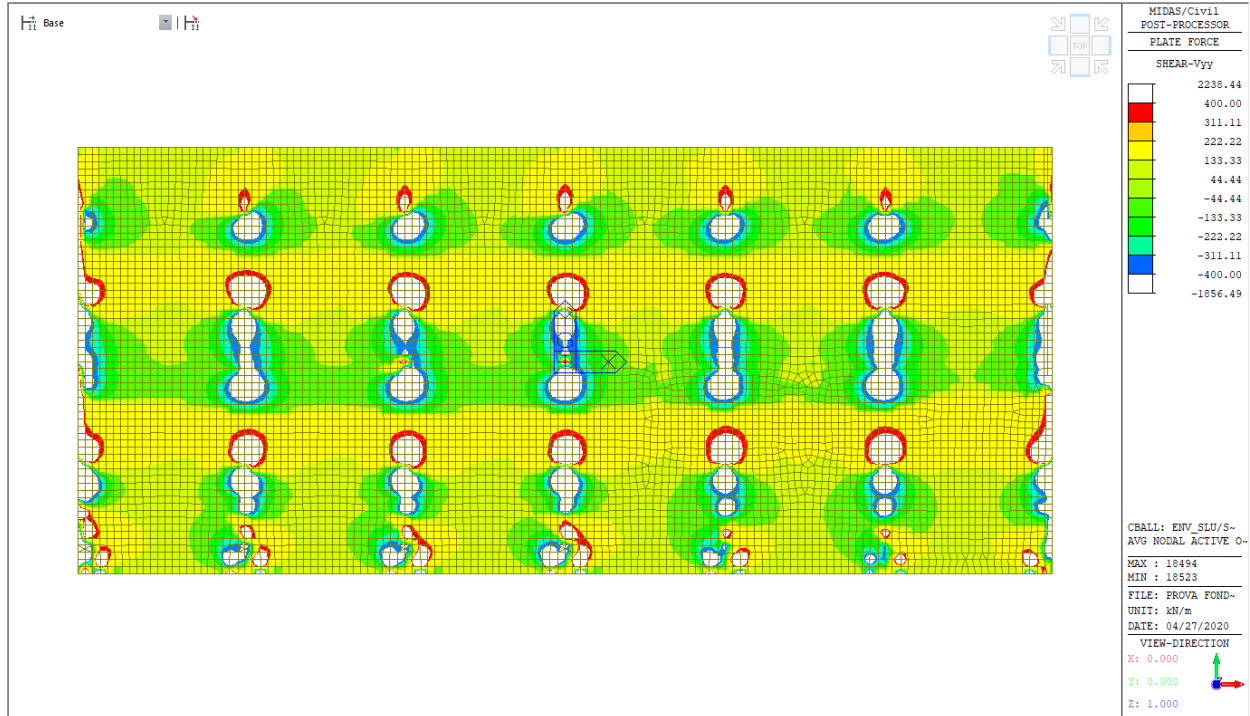


Figura 70 – Taglio resistente elementi non armati a taglio $V_{Rct,yy}$

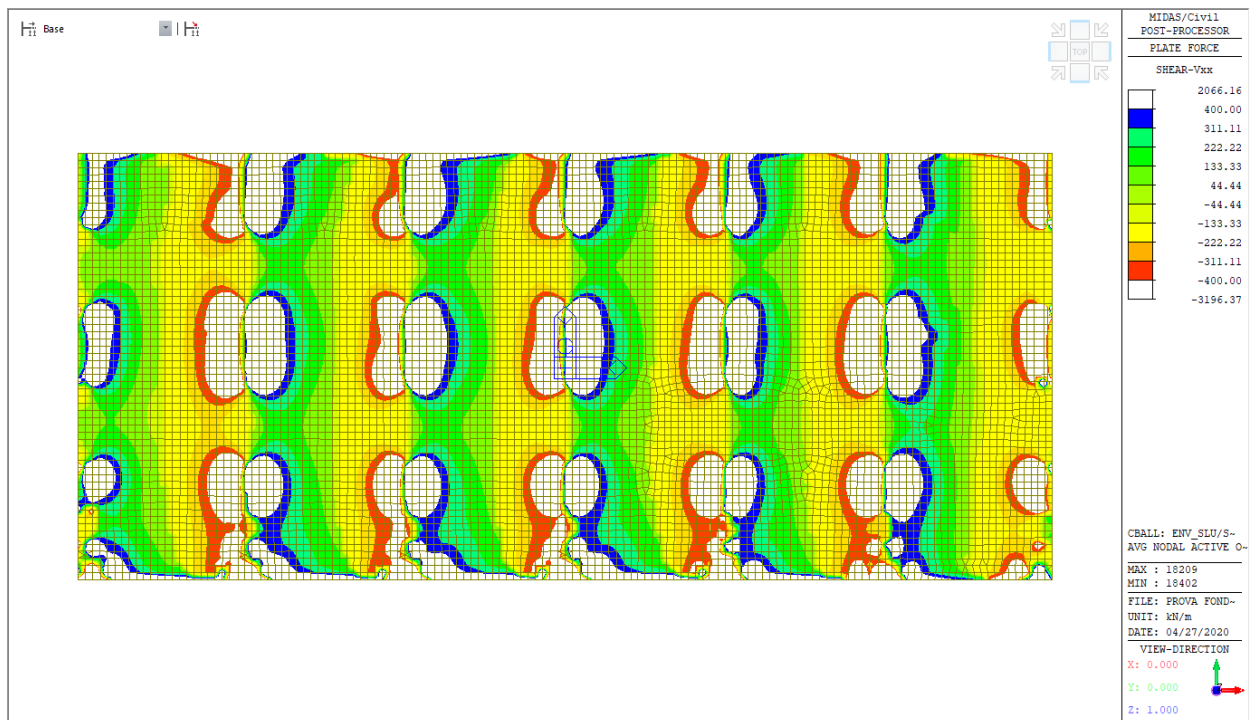


Figura 71 – Taglio resistente elementi non armati a taglio $V_{Rct,xx}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO FV01 - stazione di Enna					
	RELAZIONE DI CALCOLO 1/2	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D29 CL	DOCUMENTO FV010 001	REV. B

Nelle zone di competenza delle pareti (circa 8m centrati rispetto all'asse della parete) si prevede di disporre invece una armatura a taglio costituita da spilli $\Phi 12/15 \times 30$ cm in entrambe le direzioni:

Elemento	Armature trasversali						Inclinazione Bielle Compresse				Taglio Compressione				Taglio Trazione	
	n_b	\emptyset	P (cm)	A_{sw} (mm ²)	α°	ω^{sw}	$\cotg\theta^*$	$\theta^* \circ$	θ° cal	$\cotg\theta$	σ_{sep} (Mpa)	a_c	f_{cd} (Mpa)	V_{Rcd} (KN)	V_{Rsd} (KN)	Vrd
SOLETTA	6.0	12.0	30	678.58	90	0.05	2.972	18.599	21.80	2.50	0.00	1.00	8.70	2551.84	1881.97	1881.97

Il valore del taglio così ottenuto è superiore al taglio massimo agente ad eccezione di alcuni picchi tensionali trascurabili ai fini delle verifiche.

14.5.2 Verifiche allo SLE

I risultati ottenuti sono i seguenti:

SOLLECITAZIONI MAX SLE		VERIFICA A METRO LINEARE				
Mxx [kNm]	N [kN]	Af	Af'	$\sigma_{C,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	w [mm]
1000	0	I: $\Phi 30/15$ II: $\Phi 30/30$	$\Phi 30/15$	-4.87	134.2	0.098

SOLLECITAZIONI MAX SLE		VERIFICA A METRO LINEARE				
Myy [kNm]	N [kN]	Af	Af'	$\sigma_{C,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	w [mm]
800	0	1 $\Phi 30/15$	$\Phi 30/15$	-5.13	215.0	0.180

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

14.5.3 Riepilogo incidenze

SOLETTONE SUPERIORE	200 kg/m ³
PARTE IN ELEVAZIONE	250 kg/m ³
SOLETTONE INFERIORE	200 kg/m ³

14.6 Verifiche Geotecniche

Per le verifiche geotecniche si rimanda alla Relazione di calcolo e stabilità del rilevato di stazione.