

**E 78 GROSSETO - FANO  
TRATTO SELCI - LAMA (E 45) - S.STEFANO DI GAIFA  
Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest -  
Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**AN 245**

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorilli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 Settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Morena Panfili</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. David Crenca</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Frosinone n. A1762</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p><b>coopprogetti</b></p> <p><b>engeko</b></p> <p><b>AIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

**OPERE D'ARTE MAGGIORI**

Galleria Mercatello 2

Imbocco ovest

Relazione tecnica e di calcolo manufatto di uscita

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA	
PROGETTO	LIV.PROG	ANNO	T00GA03OSTRE03A.				
<b>D</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	<b>T00GA03OSTRE03</b>			<b>A</b>	-
D							
C							
B							
A	Emissione a seguito istruttoria U.0030221 del 16.01.2023		Febbraio'23	Lucibello	Signorelli	Guiducci	
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>PREMESSA.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b>2.</b>	<b><u>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b>3.</b>	<b><u>CONDIZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
3.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO GALLERIA .....	5
3.2.	STRATIGRAFIA DI PROGETTO GALLERIA.....	5
<b>4.</b>	<b><u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
4.1.	CALCESTRUZZO .....	6
4.2.	ACCIAIO .....	6
4.3.	ULTERIORI SPECIFICHE RELATIVE AI MATERIALI .....	6
4.3.1.	CALCESTRUZZI.....	6
<b>5.</b>	<b><u>GEOMETRIA .....</u></b>	<b><u>8</u></b>
<b>6.</b>	<b><u>DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....</u></b>	<b><u>10</u></b>
6.1.	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE .....	10
6.2.	DEFINIZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	10
<b>7.</b>	<b><u>CRITERI DI VERIFICA E CALCOLO.....</u></b>	<b><u>13</u></b>
7.1.	PREMESSA NORMATIVA DI CALCOLO .....	13
7.2.	COMBINAZIONE DELLE AZIONI (CAP. 2.5.3 D.M. 17/01/2018).....	13
7.3.	COEFFICIENTI DELLE AZIONI AGLI STATI LIMITE.....	15
7.4.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE (SLU).....	15
7.4.1.	SLU (STR) .....	16
7.4.2.	CONDIZIONI SISMICHE.....	16
7.5.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE (SLE) .....	17
7.5.1.	VERIFICHE DELLA FESSURAZIONE .....	17
7.5.2.	VERIFICHE DELLE TENSIONI DEI MATERIALI.....	18
<b>8.</b>	<b><u>ANALISI DEI CARICHI.....</u></b>	<b><u>19</u></b>
8.1.	CARICHI PERMANENTI.....	19
8.2.	AZIONE SISMICA.....	21
<b>9.</b>	<b><u>SOFTWARE DI CALCOLO E MODELLAZIONE .....</u></b>	<b><u>22</u></b>
9.1.	ALTRI SOFTWARE.....	22
<b>10.</b>	<b><u>CRITERI GENERALI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A. ....</u></b>	<b><u>23</u></b>
10.1.	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMO .....	23
10.1.1.	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE.....	23
10.1.2.	VERIFICA A TAGLIO .....	24

PROGETTAZIONE ATI:

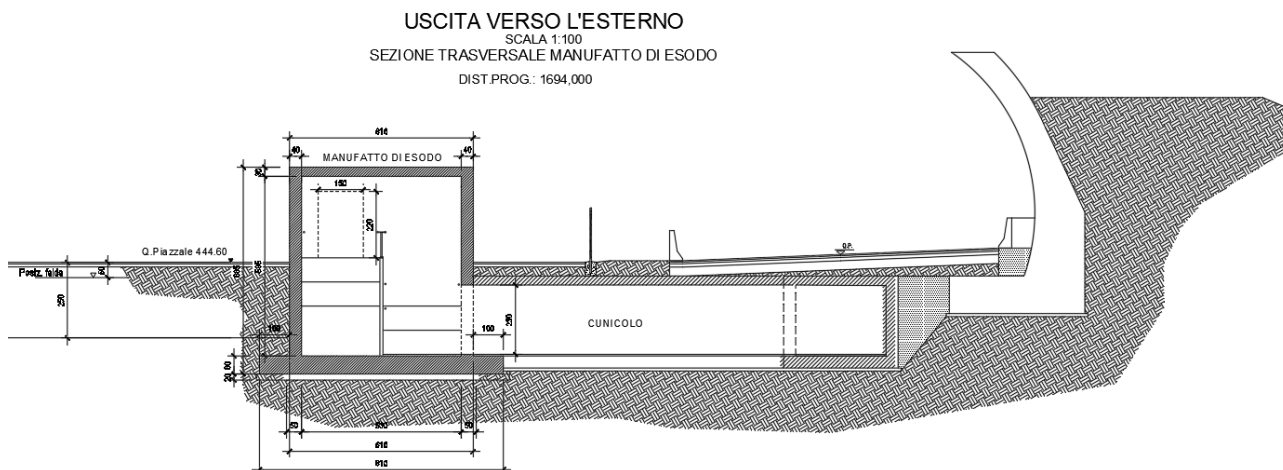
10.2. VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	25
<b><u>11. RISULTATI DELL'ANALISI.....</u></b>	<b><u>26</u></b>
11.1. DIAGRAMMI DI SOLLECITAZIONE AGLI SLU .....	26
11.2. DIAGRAMMI DI SOLLECITAZIONE AGLI SLE .....	48
<b><u>12. VERIFICHE DI RESISTENZA .....</u></b>	<b><u>65</u></b>
12.1. VERIFICHE SLU/SLV .....	65
12.1.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PARETI.....	65
12.1.2. VERIFICA A TAGLIO PARETI .....	96
12.1.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PLATEA DI FONDAZIONE .....	98
12.1.4. VERIFICA A TAGLIO PLATEA DI FONDAZIONE.....	106
12.1.5. VERIFICA DELLA COPERTURA .....	107
12.2. VERIFICA SLE.....	113
12.2.1. VERIFICA DELLE TENSIONI DEI MATERIALI .....	113
12.2.2. VERIFICA DELLA FESSURAZIONE – SLE FREQUENTE .....	116
12.2.3. VERIFICA DELLA FESSURAZIONE – SLE QUASI PERMANENTE.....	116
<b><u>13. VERIFICA DI EQUILIBRIO .....</u></b>	<b><u>117</u></b>
<b><u>14. VERIFICA DELLA CARPENTERIA METALLICA INTERNA.....</u></b>	<b><u>119</u></b>

PROGETTAZIONE ATI:

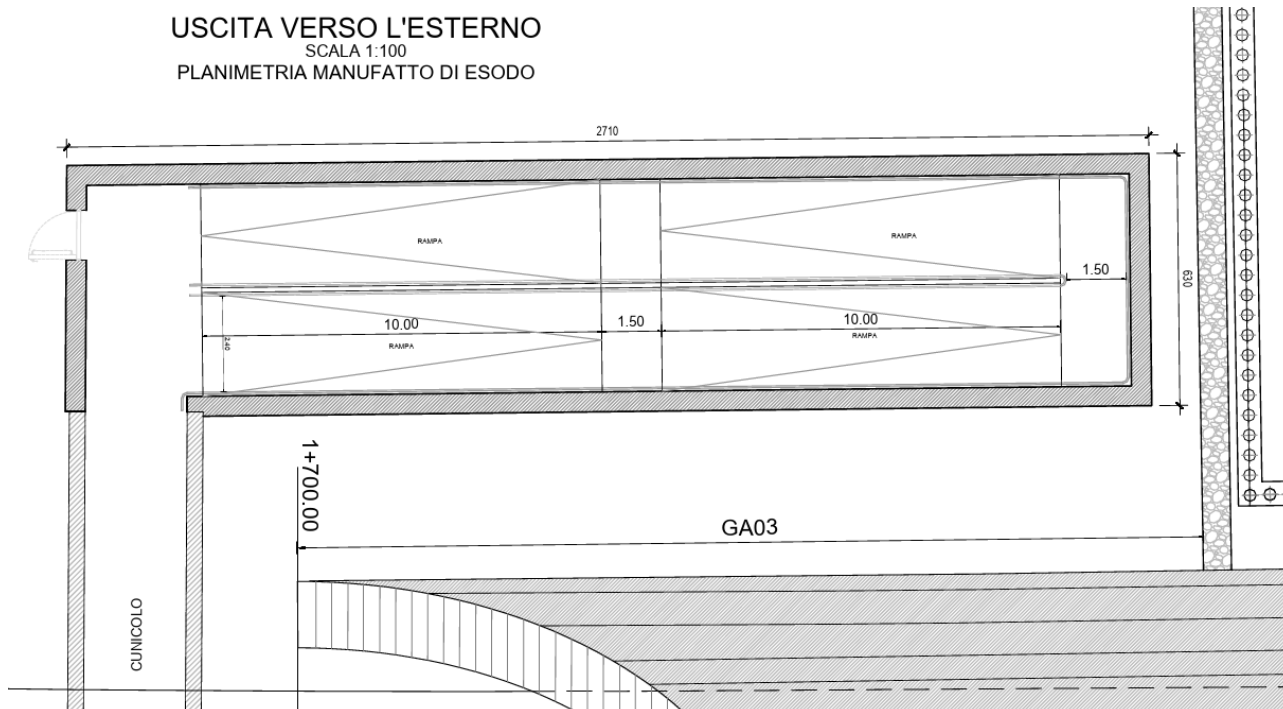
## 1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo è parte integrante del progetto definitivo “S.G.C. E78 GROSSETO - FANO – Tratto Selci Lama (E/45) - S. Stefano di Gaifa – Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest - Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)” che si sviluppa interamente all’interno del territorio comunale di Mercatello sul Metauro (PU).

La struttura oggetto di studio è il manufatto di esodo dell’imbocco ovest della galleria Mercatello 2, di cui si riportano le immagini:



**Figura 1.1 Sezione trasversale manufatto di esodo**



**Figura 1.2 Planimetria manufatto di esodo**

In tale relazione si riportano le analisi e le verifiche relative al manufatto di esodo.

PROGETTAZIONE ATI:

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [2] Circolare del 21/01/2019 n.7, “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.
- [3] UNI EN 1992-1-1 EUROCODICE 2- Progettazione delle strutture in calcestruzzo armato - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [4] UNI EN 1997-1: EUROCODICE 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole Generali
- [5] UNI EN 1998-5 EUROCODICE 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5 - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;

PROGETTAZIONE ATI:

### 3. CONDIZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

#### 3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO GALLERIA

Per l'inquadramento geologico e idrogeologico si veda quanto riportato negli specifici elaborati.

#### 3.2. STRATIGRAFIA DI PROGETTO GALLERIA

Di seguito si riportano i valori caratteristici dei terreni presenti in sito, utilizzati per le successive analisi della galleria:

Descrizione	Unità	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$E_{medio}$ [MPa]
Formazione UG1 – coltre detritica	UG1	20	25	5	25
Formazione litoide UG2	UG2	26	48	70	2500

Nel sottosuolo è presente una falda alla quota di 0.5m dal PC.

Si riporta nel seguito una sintesi della parametrizzazione geotecnica utilizzata per la definizione del quadro geo-meccanico che caratterizza le analisi condotte per il manufatto di esodo oggetto della presente relazione.

- UG1 - Pareti (formulazione Boussinesq)  $K_h = 27472.5 \text{ kN/m}^3$
- UG2 - Platea (formulazione Bowles)  $K_v = 560897 \text{ kN/m}^3$
- UG2 - Pareti e platea (formulazione Boussinesq)  $K_h = 2.747 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^3$

#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

##### 4.1. CALCESTRUZZO

- Calcestruzzo per magrone

Classe di resistenza minima:	$C_{min}$	C12/15
------------------------------	-----------	--------

- Calcestruzzo per getto: copertura, pareti e platea di fondazione

Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI11104		
Classe di resistenza minima:	Cmin	C28/35
Classe di esposizione:		XC3
Classe di consistenza:	S	S5
Dimensione massima aggregati [mm]	Dmax	20
Copriferro [mm]	c	Min 30

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo e per la definizione della classe di resistenza di queste ultime in funzione delle condizioni ambientali, si farà riferimento alle indicazioni contenute nelle norme UNI EN 206-1 ed UNI 11104.

##### 4.2. ACCIAIO

- Acciaio per armature ordinarie

Acciaio in barre ad aderenza migliorata tipo B450C controllato in stabilimento				
Tensione caratteristica di snervamento:	di	$f_{yk}$		$\geq 450N/mm^2$
Tensione caratteristica di rottura		$f_{tk}$		$\geq 540N/mm^2$

- Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio per carpenteria metallica S355				
Tensione caratteristica di snervamento:	di	$f_{yk}$		$\geq 355N/mm^2$
Tensione caratteristica di rottura		$f_{tk}$		$\geq 510N/mm^2$

##### 4.3. ULTERIORI SPECIFICHE RELATIVE AI MATERIALI

###### 4.3.1. CALCESTRUZZI

La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza al getto ed il diametro massimo dell'aggregato, nonché la classe di esposizione ambientale, di cui alla norma UNI EN 206:2016.

PROGETTAZIONE ATI:

Per le caratteristiche dei calcestruzzi si fa riferimento alle formule indicate di seguito:

- resistenza a compressione cubica:  $R_{ck}=35$  MPa
- resistenza a compressione cilindrica:  $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 29.05$  MPa
- resistenza a compressione cilindrica media:  $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 37.05$  MPa
- resistenza media a trazione semplice per classi <C50/60:  $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.84$  MPa
- modulo elastico:  $E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/ 10]^{0,3} = 32588$  MPa
- coefficiente di Poisson: 0,20

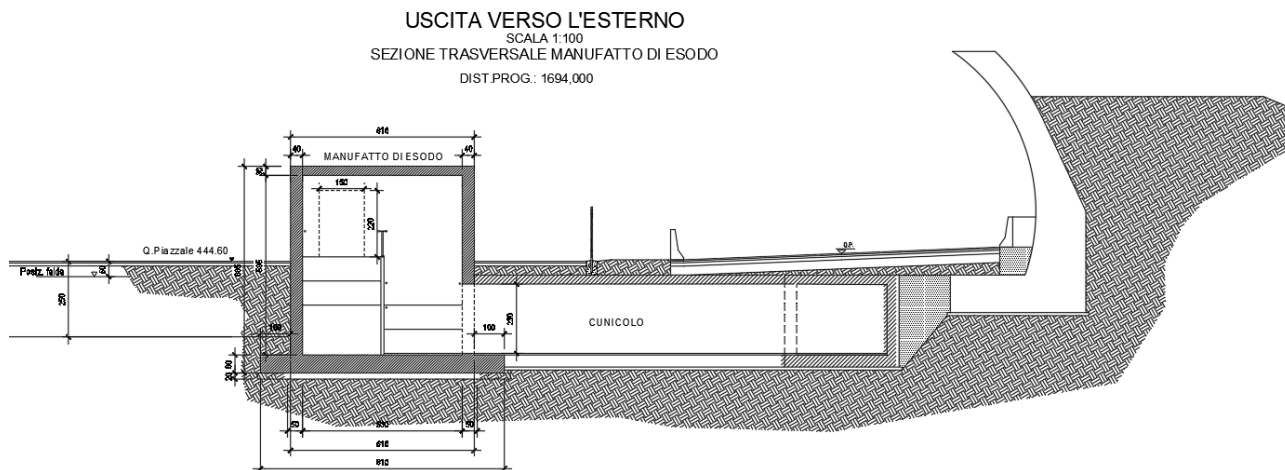
PROGETTAZIONE ATI:



## 5. GEOMETRIA

L'opera di esodo è rappresentata da una struttura scatolare di dimensioni 27.10m x 6.10m, caratterizzata da uno spessore della copertura pari 0.30m, spessore delle pareti pari a 0.40m e spessore della platea di fondazione pari a 0.60m.

Qui di seguito viene riportata la sezione.



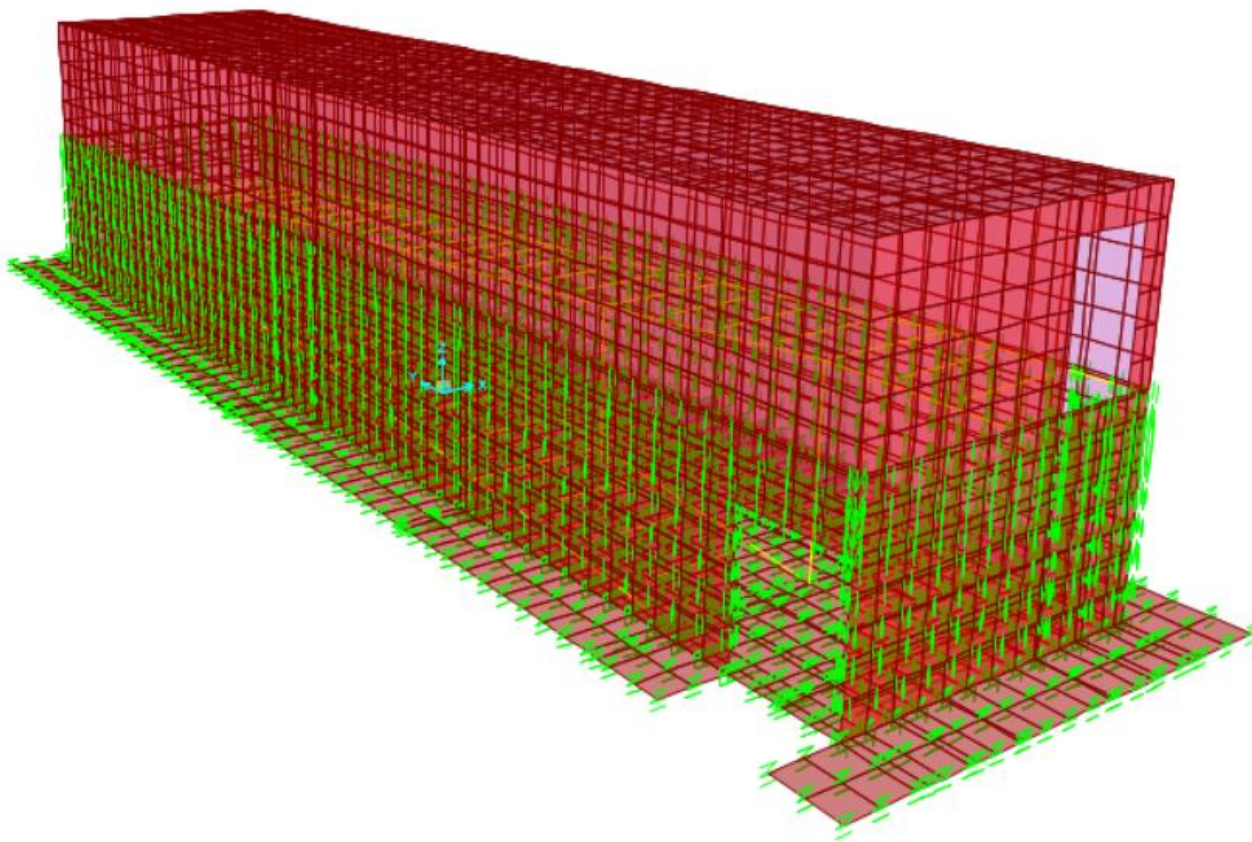
**Figura 5.1 Sezione dell'opera in esame**

Nell'analisi si considera una lunghezza pari a 27.10m e una larghezza pari a 5.70m, viene quindi definito un modello della struttura schematizzato con elementi "shell". In funzione della variabilità degli elementi strutturali si sono individuate le seguenti sezioni tipologiche:

- Copertura;
- Pareti;
- Platea di fondazione.

Nella figura seguente viene riportata la geometria del modello di calcolo dell'opera sviluppato mediante il software Sap2000 ver. 24.1.0.

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 5.2 Modellazione della struttura di esodo**

PROGETTAZIONE ATI:

## **6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Ai fini della normativa vigente le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Ai fini delle verifiche strutturali, in accordo con la normativa vigente, si considera lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di Danno (SLD).

Per la definizione del tempo di ritorno del sisma, è stata considerata una vita nominale della struttura pari a 50 anni e classe d'uso IV ( $c_u = 2$ ), cosicché il periodo di riferimento dell'azione sismica risulta essere:

$$V_R = V_N \cdot c_u = 100 \text{ anni}$$

### **6.1. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE**

A livello di categoria di suolo di fondazione si assume un terreno di categoria B: “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti”.

Per quanto concerne invece le condizioni topografiche, il sito in oggetto è attribuibile alla Categoria T1: “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i < 15^\circ$ ”.

### **6.2. DEFINIZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA DI PROGETTO**

Sulla base di quanto mostrato in precedenza sono riportati i parametri per la definizione dell'azione sismica massima di progetto la quale sarà necessaria per la definizione della forza pseudo-statica sismica.

Vengono qui di seguito riportati i principali parametri, oltre che l'azione sismica presente nella locazione specifica dei manufatti, sia allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita che allo Stato Limite di Danno.

Latitudine: 43.64207 N

Longitudine: 12.33877 E

Si considera un coefficiente di struttura unitario ( $q=1$ ) trattandosi di una struttura scarsamente dissipativa.

PROGETTAZIONE ATI:

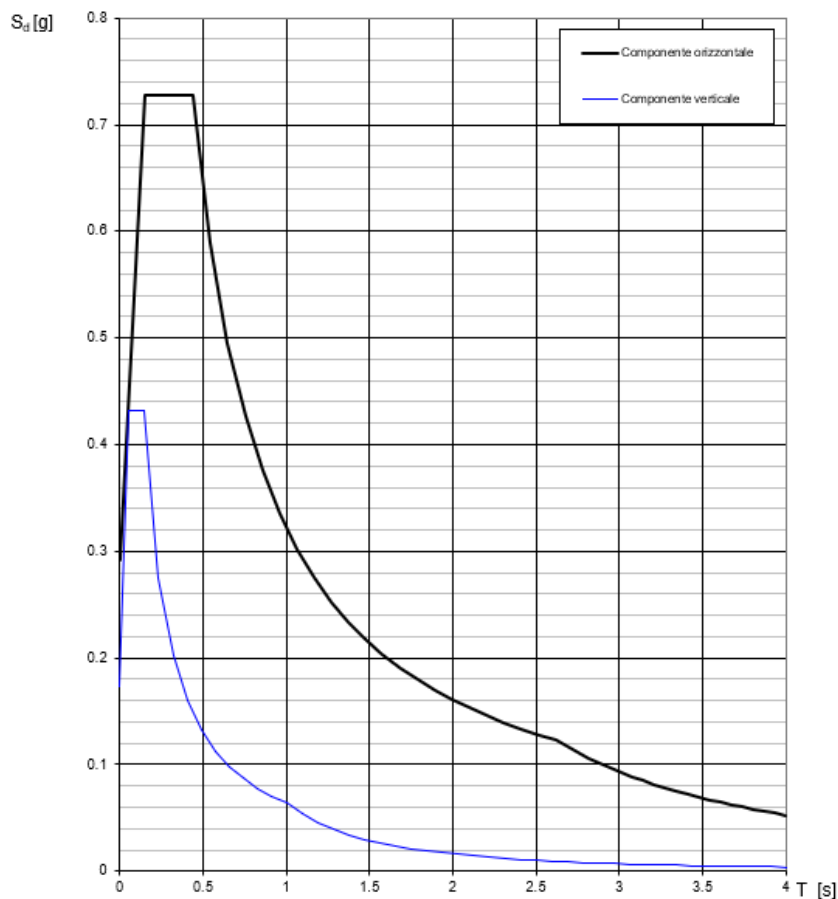
**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.254 g
$F_o$	2.499
$T_C^*$	0.319 s
$S_S$	1.146
$C_C$	1.382
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.146
$\eta$	1.000
$T_B$	0.147 s
$T_C$	0.441 s
$T_D$	2.616 s

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV**



**Figura 6.1 Definizione accelerazione sismica SLV**

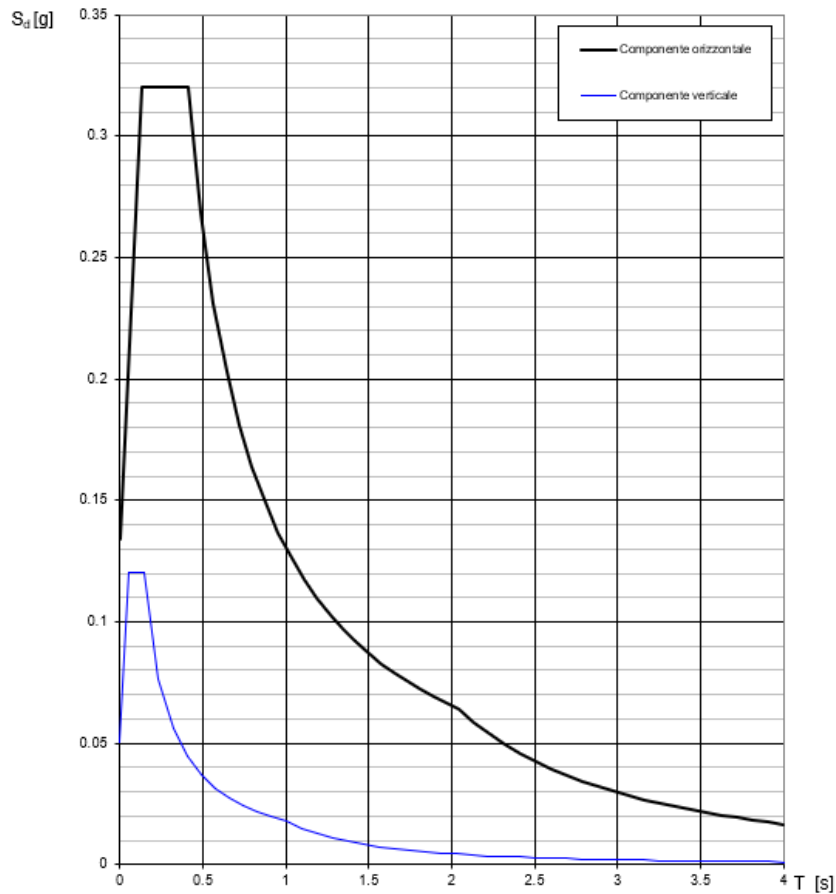
**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.112 g
$F_o$	2.387
$T_C^*$	0.290 s
$S_s$	1.200
$C_C$	1.409
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.136 s
$T_C$	0.408 s
$T_D$	2.047 s

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLD**



**Figura 6.2 Definizione accelerazione sismica SLD**

## **7. CRITERI DI VERIFICA E CALCOLO**

### **7.1. PREMESSA NORMATIVA DI CALCOLO**

Le verifiche contenute nel presente documento fanno riferimento a quanto prescritto per i sistemi fondazionali nelle NTC2018 e successiva circolare esplicativa.

Le verifiche strutturali sono eseguite nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU) e degli Stati Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) riferiti allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione.

Gli stati limite di esercizio esaminati per il soddisfacimento delle prestazioni richieste ai manufatti sono:

- danneggiamenti locali che possono ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto (controllo delle tensioni massime e della fessurazione del calcestruzzo con verifiche sezionali);
- eccessive deformazioni che possono limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto (verifica dei rapporti limite deformazione massima o spessore /luce di calcolo).

Per ogni stato limite deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad (\text{eq. 6.2.1 delle NTC2018})$$

dove

$E_d$  valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

### **7.2. COMBINAZIONE DELLE AZIONI (CAP. 2.5.3 D.M. 17/01/2018)**

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

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

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

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

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

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} A_{Ed} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

La progettazione e verifica degli elementi strutturali è condotta in conformità alla normativa vigente Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (DM 17/01/2018). Le verifiche tensionali degli elementi strutturali sono eseguite col metodo degli stati limite. Ai fini del dimensionamento e delle verifiche sono stati presi in esame i seguenti approcci di calcolo, secondo quanto specificato in NTC 2018:

SLU approccio 1:

- Combinazione Fondamentale
- Combinazione sismica

SLE:

- Combinazione Rara (SLE-R)
- Combinazione sismica (SLD)
- Combinazione Frequente (SLE-F)
- Combinazione Quasi Permanente (SLE- Q)

Per ognuno degli stati limite sopra definiti si adotteranno le combinazioni di carico definite precedentemente. Si rimanda all'allegato per la definizione delle combinazioni di carico.

Nel caso in esame, si sono definite 4 tipologie di combinazioni:

- Combinazione SLU\_1, definita per massimizzare l'azione delle spinte sulla struttura;
- Combinazione SLU\_no spinte, definita per minimizzare l'azione delle spinte sulla struttura;
- Combinazione Ex+, definita per modellare l'azione sismica;
- Combinazione EQU, definita per minimizzare i pesi della struttura e verificare la condizione di galleggiamento.

Le medesime combinazioni definite per lo SLU, sono state definite anche per gli SLE, nello specifico, per i casi di combinazione Rara, Frequente e Quasi Permanente.

PROGETTAZIONE ATI:

### 7.3. COEFFICIENTI DELLE AZIONI AGLI STATI LIMITE

Per la verifica agli SLU si adottano i valori dei coefficienti parziali della tabella sotto riportata (rif. Tab. 6.2.I delle NTC 2018):

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qa}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G3}$

### 7.4. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE (SLU)

Per ogni stato limite ultimo SLU deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove  $E_d$  è il valore di progetto delle azioni e  $R_d$  il valore di progetto della resistenza del sistema.

Effetto delle azioni sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $E_d = F_k \cdot \gamma_E$ , dei parametri di progetto  $X_k / \gamma_M$  e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza appare esplicitamente il coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza.

Combinazioni per analisi statiche SLU							
	Azioni ( $\gamma_F$ )				Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )		
	Permanenti		Variabili		tan $\varphi'$	c'	c <sub>u</sub>
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli			
STR (A1 + M1)	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00
GEO (A2 + M2)	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40

Per i carichi permanenti  $G_1$  e per le spinte  $G_3$  si è considerato  $\gamma_G = 1.3$  per le azioni sfavorevoli e  $\gamma_G = 1$  per le azioni favorevoli.

Per i carichi permanenti  $G_2$  si è considerato  $\gamma_G = 1.5$  per le azioni sfavorevoli e  $\gamma_G = 0,8$  per le azioni favorevoli.

Per tutti i carichi variabili sono stati considerati i seguenti coefficienti:

$$\gamma_Q = 1.5$$

$$\psi_0 = 0,75; \psi_1 = 0,75; \psi_2 = 0.$$

Le combinazioni adottate nel modello di calcolo sono riportate negli allegati.



### 7.4.1. SLU (STR)

Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimo per il dimensionamento strutturale (STR) le analisi saranno eseguite facendo riferimento alla Combinazione 1 (A1+M1+R1) in cui le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1, applicati direttamente sulle sollecitazioni caratteristiche.

In questo caso le verifiche a cui far riferimento sono le seguenti:

- Resistenza a pressoflessione.
- Resistenza a taglio

### 7.4.2. CONDIZIONI SISMICHE

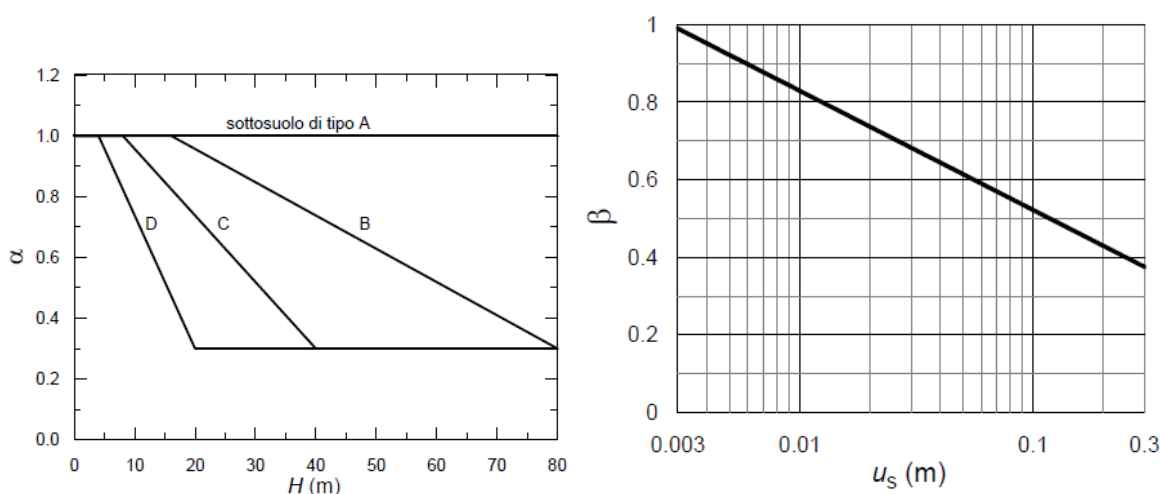
Come prescritto dalle NTC2018 Al Par. 7.11.1, le verifiche si eseguono con coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici e considerando le variazioni della spinta delle terre sulle superfici laterali della galleria.

In accordo con il Capitolo 7.11.6.3.1 delle NTC2018, l'analisi della spinta delle terre in condizioni sismiche può essere effettuata seguendo un metodo pseudo-statico.

Questa tipologia di analisi consente di considerare l'azione dinamica indotta dal sisma attraverso una statica equivalente: essa è pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. Nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLV) l'accelerazione laterale di progetto può essere calcolata mediante la seguente espressione:

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

Dove il coefficiente  $\alpha$  è funzione della deformabilità dei terreni interagenti con la struttura e dell'altezza dell'opera, mentre  $\beta$  dipende dalla capacità della struttura di subire spostamenti. Tali coefficienti possono essere dedotti a partire dalle Figure 7.11.2 e 7.11.3 presenti nelle NTC2018 e di seguito riportate.



PROGETTAZIONE ATI:

Nel caso della struttura di esodo, data la notevole rigidità dell'opera si terrà conto delle forze inerziali derivanti dalla spinta del terreno sono state considerate con una forza pseudo-statica valutata attraverso il noto metodo di Wood; metodo applicabile in quanto si di un'opera rigida completamente vincolata.

## 7.5. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE (SLE)

Le opere ed i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. Per ciascuno stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

Dove  $E_d$  è sempre il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

### 7.5.1. VERIFICHE DELLA FESSURAZIONE

Per gli Stati Limite di Esercizio occorre verificare che l'ampiezza delle fessure  $w_k$ , per gli elementi con armature lente, sia al di sotto del valore limite fissato per le classi di esposizione in oggetto. In particolare, per condizioni ambientali ordinarie e armatura poco sensibile, devono essere rispettati i seguenti limiti:

- Combinazione di carico frequente:  $w_k \leq w_3 = 0.4mm$ ;
- Combinazione di carico quasi permanente:  $w_k \leq w_2 = 0.3mm$ ;

Tali limiti sono forniti dalla tabella successiva:

**Tab. 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

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_k$	Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

### **7.5.2. VERIFICHE DELLE TENSIONI DEI MATERIALI**

Allo Stato Limite di Danno (SLD) è necessario invece verificare, sia la resistenza come indicato dalle NTC18 per strutture con classe d'uso IV, anche che la struttura rimanga prevalentemente elastica come da definizione di SLD. Per fare questo viene eseguita una verifica tensionale e in particolare che le tensioni siano comprese entro certi limiti:

- $\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck} = 17.43 \text{ MPa}$
- $\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

Allo Stato Limite di Esercizio in riferimento alla combinazione “Rara” (caratteristica) è necessario verificare che le tensioni siano comprese entro i seguenti limiti:

- $\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck} = 17.43 \text{ MPa}$
- $\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

Allo Stato Limite di Esercizio in riferimento alla combinazione “Quasi Permanente” è necessario verificare che le tensioni siano comprese entro i seguenti limiti:

- $\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck} = 13.07 \text{ MPa}$
- $\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

PROGETTAZIONE ATI:

## **8. ANALISI DEI CARICHI**

Si considerano i seguenti carichi nel calcolo delle sollecitazioni agenti:

- Carichi permanenti  $G_1$ :
  - Peso proprio delle strutture in c.a. (valutato direttamente dal software, che moltiplica la densità volumetrica del materiale per l'area della sezione). Il peso ad unità di volume del calcestruzzo è pari a  $\gamma = 25\text{kN/m}^3$ ;
  - Peso proprio delle strutture in acciaio (valutato direttamente dal software, in base alla sezione delle travi/colonne). Il peso ad unità di volume dell'acciaio è pari a  $\gamma = 7.85\text{kN/m}^3$ ;
  - Peso proprio del terreno;
  - Spinta delle terre;
  - Spinte e sottospinte idrauliche;
- Carichi permanenti  $G_2$ :
  - I carichi permanenti (massetto e impermeabilizzazione della copertura esterna e griglia presente sulla scala interna) In particolare, si è assunto un peso medio ad unità di area pari a  $2\text{ kN/m}^2$  e  $0.50\text{ kN/m}^2$ .
  - Sulla rampa in acciaio è stata considerata la presenza di un grigliato metallico del peso di  $0.5\text{kN/m}^2$ .
- Carichi variabili  $Q$ :
  - Carico neve, pari a  $1.63\text{ kN/m}^2$  (valutato secondo NTC'18) uniformemente distribuito sulla copertura;
  - Sovraccarico folla, pari a  $4.00\text{ kN/m}^2$  applicato sulle travi della scala interna.
- Azione del sisma  $E$ :
  - Componente inerziale della spinta delle terre;

### **8.1. CARICHI PERMANENTI**

Le pressioni nel terreno sono determinate sulla base dei pesi specifici delle stratigrafie relative al manufatto.

Le pressioni totali ed efficaci sono riferite al livello di falda posto in evidenza nel capitolo 3 e calcolate sia per il caso simmetrico che asimmetrico.

La spinta delle terre viene valutata a partire dallo stato di sforzo verticale con le seguenti formulazioni:

- Spinta del terreno a riposo: formula di Jacky

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

- Spinta attiva e passiva: Il calcolo può essere condotto con varie formulazioni come Coulomb o Rankine e viene valutato direttamente dal software di calcolo per le varie fasi di cantiere.

PROGETTAZIONE ATI:

Il coefficiente di spinta passiva  $K_p$  viene valutata automaticamente dal software attraverso la reazione delle molle poste nel contorno dell'opera.

$$K_A = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2} \right) = \tan^2(\beta)$$

L'angolo di attrito tra il muro e il terreno viene posto pari a  $\phi = 25^\circ$ .  
Di seguito si riporta il valore ottenuto per il coefficiente di spinta a riposo:

$$K_0 = 1 - \sin(25) = 0.577$$

La spinta della terra e quella idraulica vengono considerate mediante lo strumento "Joint Patterns" messo a disposizione del software di calcolo.

PROGETTAZIONE ATI:

## **8.2. AZIONE SISMICA**

Nel caso in esame, data la notevole rigidezza dell'opera si terrà conto delle forze inerziali derivanti dalla spinta del terreno sono state considerate con una forza pseudo-statica valutata attraverso il noto metodo di Wood; metodo applicabile in quanto si di un'opera rigida completamente vincolata. La spinta  $\Delta P_d$  agente sulla galleria è pertanto così definita:

$$\Delta\sigma_{wood} = \gamma_{terreno} \cdot H_{terra} \cdot S \cdot a_g$$

Dove:

- $a_g = 0.291g$  (PGA);
- $S = 1.146$  ( $S_s \cdot S_T$ );
- $\gamma_t = 13.0 \text{ kN/m}^3$  (peso specifico del terreno immerso);
- $H = 3.446 \text{ m}$  (altezza della terra che spinge sull'opera).

Per lo SLV si ha:

$$\Delta\sigma_{wood} = 14.94 \text{ kN/m}^2$$

## **9. SOFTWARE DI CALCOLO E MODELLAZIONE**

I calcoli progettuali sono stati svolti con l’ausilio del codice di calcolo **SAP2000**.

La simulazione avviene analizzando il problema nelle 3 dimensioni, in cui ogni elemento della struttura scatolare è modellato con elementi “shell”. La scala interna invece, è modellata con elementi “frame” i quali verranno poi collegati alla struttura.

Alle pareti della struttura e al di sotto della platea di fondazione, sono stati applicati degli elementi “springs” per simulare il comportamento del terreno esistente.

### **9.1. ALTRI SOFTWARE**

Le verifiche delle sezioni in c.a. sono state eseguite con l’ausilio del freeware “VcaSlu” distribuito dal Prof. Piero Gelfi dell’Università di Brescia e attraverso fogli Excel opportunamente predisposti.

PROGETTAZIONE ATI:

## 10. CRITERI GENERALI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

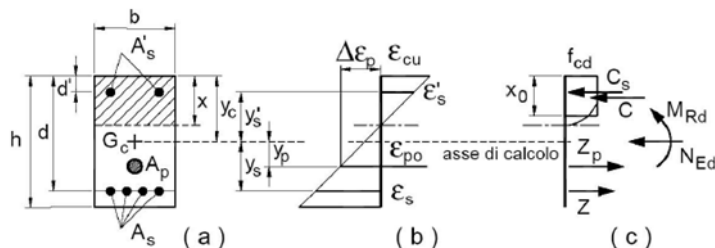
- Verifiche per gli Stati Limite Ultimi a presso-flessione ed a taglio;
- Verifiche per gli Stati Limite di Esercizio per la fessurazione.

### 10.1. VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMO

#### 10.1.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

La verifica alle sollecitazioni che provocano tensioni normali (sforzo normale, flessione semplice e flessione composta) è stata fatta con uno specifico programma in cui, inserendo le caratteristiche geometriche della sezione, delle armature e delle sollecitazioni desunte dai precitati tabulati di calcolo, si ottiene, per i materiali ipotizzati, il momento resistente che dovrà risultare maggiore del momento agente.

Con riferimento alla sezione pressoinflessa retta, la capacità, in termini di resistenza e duttilità, si determina in base alle ipotesi di calcolo e ai modelli  $\sigma - \varepsilon$ :



**Figura 10.1 Schema verifica a pressoflessione**

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

$$FS = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$$

Le verifiche a pressoflessione, invece, vengono condotte definendo un dominio di interazione N-M funzione delle caratteristiche meccaniche, geometriche e dal quantitativo d'armatura della sezione: per ogni combinazione si valuta che la coppia ( $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$ ) agente risulti interna a tale dominio.

In particolare, per quanto concerne quest'ultima, si fa riferimento alle 4 combinazioni più gravose: le due con sforzo assiale minima (max compressione) e massima (max trazione o min compressione) e le due con momento minimo e massimo.



### 10.1.2. VERIFICA A TAGLIO

Per la verifica di resistenza agli SLU, con riferimento alle sollecitazioni taglianti, deve risultare:

$$FS = \frac{V_{Rd}}{V_{Ed}} \geq 1$$

Per il valore resistente si fa riferimento ai seguenti valori qui di seguito riportati, tenendo conto di sezioni armate o non armate a taglio:

- $V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[ \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$   
resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio;
- $V_{Rd,s} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg(\alpha) + ctg(\theta)) \cdot \sin \alpha$ , valore di progetto della forza di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento delle armature;
- $V_{Rd,max} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot f'_{cd} \cdot \frac{ctg(\alpha) + ctg(\theta)}{1 + ctg^2(\theta)}$ , Valore di progetto della massima forza 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 espresso in mm;
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale;
- $A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa;
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd}$  è la tensione media di compressione della sezione;
- $A_c$  è l'area della sezione in calcestruzzo;
- $v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;
- $A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;
- s è il passo delle staffe;
- $f_{yd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio
- $\alpha$  è l'inclinazione dell'armatura resistente a taglio rispetto all'asse dell'elemento;
- $\theta$  è l'inclinazione della biella di calcestruzzo compressa e deve essere  $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

PROGETTAZIONE ATI:

## 10.2. VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Per gli Stati Limite di Esercizio occorre verificare che l'ampiezza delle fessure  $w_k$ , per gli elementi con armature lente, sia al di sotto del valore limite fissato per le classi di esposizione in oggetto.

In particolare, devono essere rispettati i seguenti limiti:

- Combinazione di carico frequente:  $w_k \leq w3 = 0.4mm$ ;
- Combinazione di carico quasi permanente:  $w_k \leq w2 = 0.3mm$ ;

L'ampiezza caratteristica  $w_k$  delle lesioni si valuta attraverso l'espressione:

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Dove:

$s_{r,max}$  è il massimo interasse tra le fessure;

$\varepsilon_{sm}$  è il valor medio della deformazione nell'acciaio.

$\varepsilon_{cm}$  è il valor medio della deformazione nel calcestruzzo fra le fessure.

La differenza  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  può valutarsi attraverso l'espressione:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - \frac{k_t}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Dove:

$\sigma_s$  è la tensione nell'acciaio calcolata in sezione parzializzata;

$E_s$  è il modulo elastico dell'acciaio;

$\rho_{p,eff}$  è il rapporto tra l'area dell'armatura tesa e l'area effettiva di calcestruzzo in trazione;

$\alpha_e$  è il rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio e quello del calcestruzzo

$k_t=0.4$  (carico di lunga durata).

Detta  $s$  la distanza massima tra le barre di armatura, il massimo interasse tra le fessure si può valutare attraverso la seguente espressione:

$$\begin{cases} s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} & se \quad s \leq 5(c + \phi/2) \\ s_{r,max} = 1.3 * (H - y_n) & se \quad s > 5(c + \phi/2) \end{cases}$$

Dove:

$c$  è il copriferro (distanza tra bordo del calcestruzzo e l'armatura; assunto uguale a 4cm);

$y_n$  è la distanza dell'asse neutro dal lembo superiore;

$\phi$  è il diametro delle barre;

$H$  è l'altezza della sezione;

$k_1=0.8$  (per barre ad aderenza migliorata);

$k_2=0.5$  (per flessione);

$k_3=3.4$  (valore consigliato);

$k_4=0.425$  (valore consigliato).

PROGETTAZIONE ATI:

## 11. RISULTATI DELL'ANALISI

Si riportano nel seguito i risultati per le varie combinazioni nei diversi elementi strutturali.

### 11.1. DIAGRAMMI DI SOLLECITAZIONE AGLI SLU

Nel presente capitolo sono riportati i risultati principali relativi alla distribuzione delle sollecitazioni, in termini di momento flettente e taglio per varie combinazioni di calcolo allo Stato Limite ultimo.

Le pareti della struttura sono state numerate in modo antiorario, da 1 a 4, partendo dalla parete laterale in cui è presente l'apertura a quota 0.

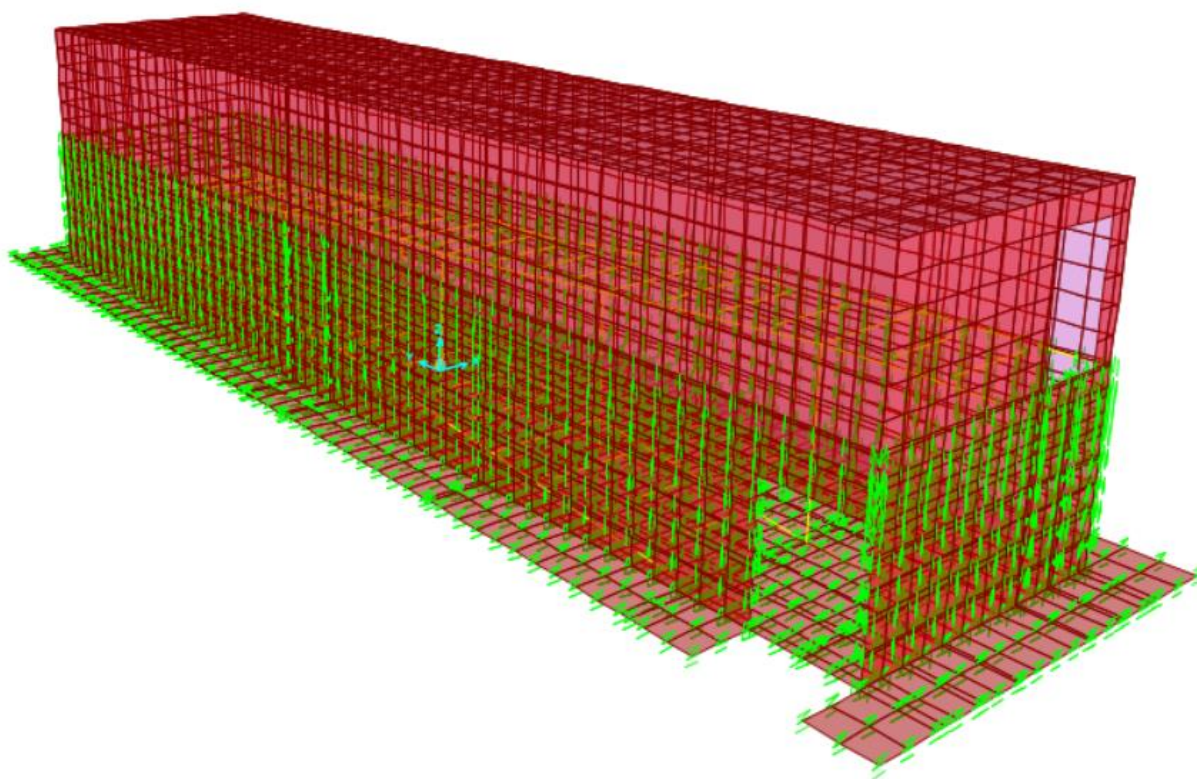


Figura 11.1 Modellazione della struttura

PROGETTAZIONE ATI:

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni dati dai casi di carico impostati sul software di calcolo: *SLU\_1*, in cui vengono considerate tutte le azioni presenti con i relativi coefficienti moltiplicativi; *SLU\_no spinta*, in cui vengono considerate tutte le azioni ad esclusione delle spinte; *Ex+*, in cui viene considerata l'azione sismica.

I contour delle sollecitazioni flettenti  $M_{11}$  e  $M_{22}$  per le pareti indicano come i momenti agenti siano inferiori rispetto ai momenti resistenti della sezione ( $M_{11\_Rd} = 82.09\text{kNm}$ ;  $M_{22\_Rd} = 134.20\text{kNm}$  - Figura 12.1, Figura 12.3).

I contour delle sollecitazioni taglianti per le pareti indicano che i tagli agenti sono inferiori rispetto al taglio resistente della sezione ( $V_{Rd} = 147.65\text{kN}$  - Figura 12.49) ad eccezione di punti singolari che rappresentano chiaramente effetti di bordo.

I contour delle sollecitazioni flettenti  $M_{11}$  e  $M_{22}$  per la platea di fondazione indicano come i momenti agenti siano inferiori rispetto ai momenti resistenti della sezione ( $M_{11\_Rd} = 213.00\text{kNm}$ ;  $M_{22\_Rd} = 126.30\text{kNm}$  - Figura 12.50, Figura 12.52).

I contour delle sollecitazioni taglianti per la platea di fondazione indicano che i tagli agenti sono inferiori rispetto al taglio resistente della sezione ( $V_{Rd} = 205.06\text{kN}$  - Figura 12.62) ad eccezione di punti singolari che rappresentano chiaramente effetti di bordo.

I contour delle sollecitazioni flettenti  $M_{11}$  e  $M_{22}$  per la copertura indicano come i momenti agenti siano inferiori rispetto ai momenti resistenti della sezione ( $M_{11\_Rd} = 50.50\text{kNm}$ ;  $M_{22\_Rd} = 62.83\text{kNm}$  - Figura 12.50, Figura 12.52).

I contour delle sollecitazioni taglianti per la copertura indicano che i tagli agenti sono inferiori rispetto al taglio resistente della sezione ( $V_{Rd} = 129.27\text{kN}$  - Figura 12.70) ad eccezione di punti singolari che rappresentano chiaramente effetti di bordo.

## PARETI

- Momento flettente – Load cases: *SLU\_1*

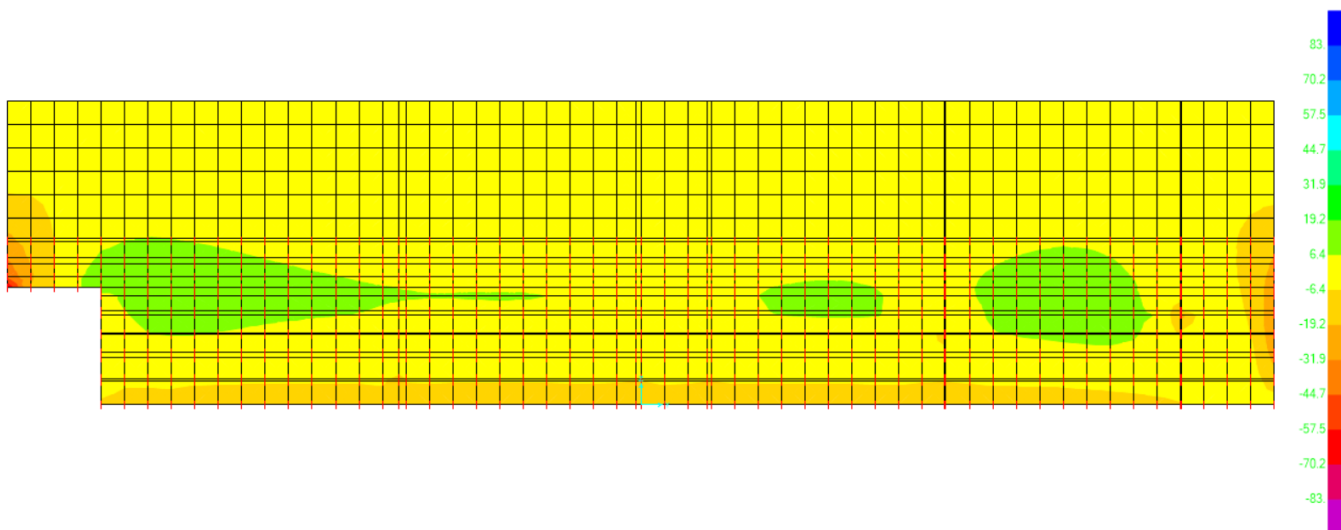
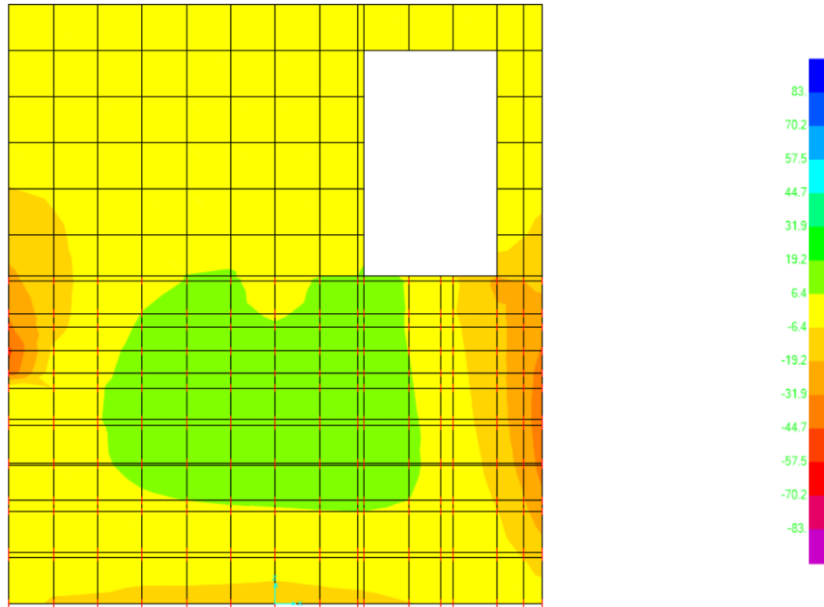
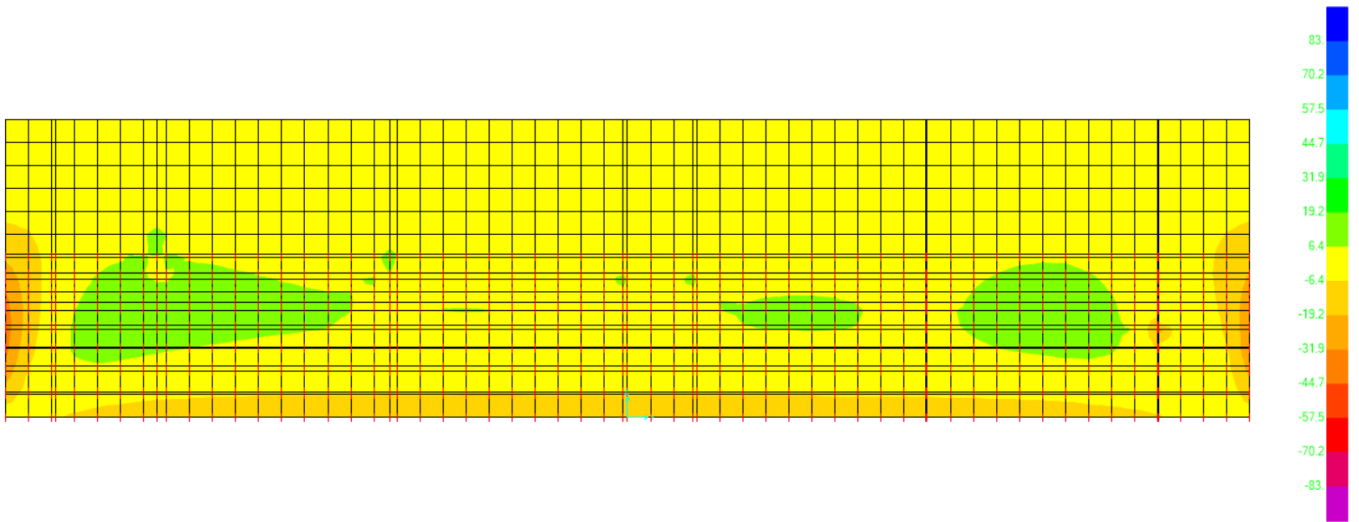


Figura 11.2 Momento flettente M11 Parete 1

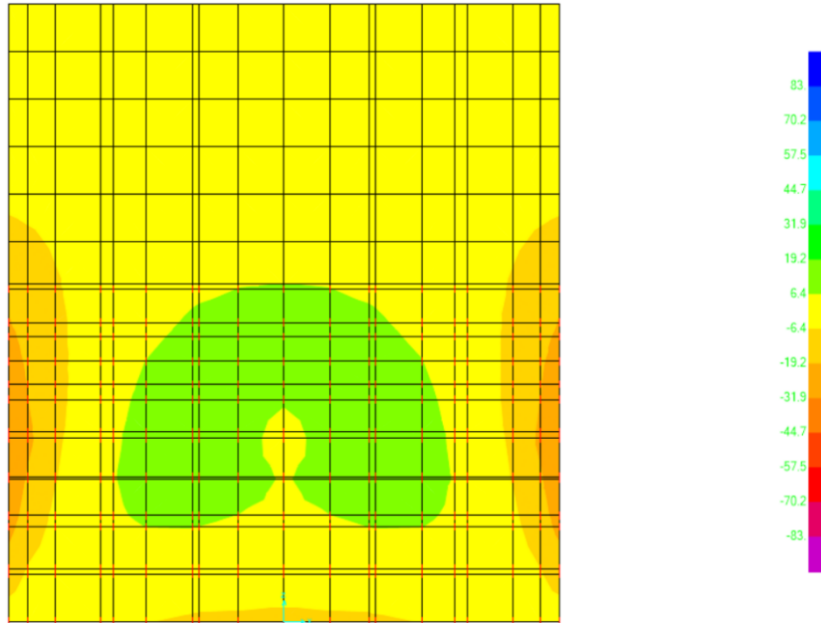


**Figura 11.3 Momento flettente M11 Parete 2**

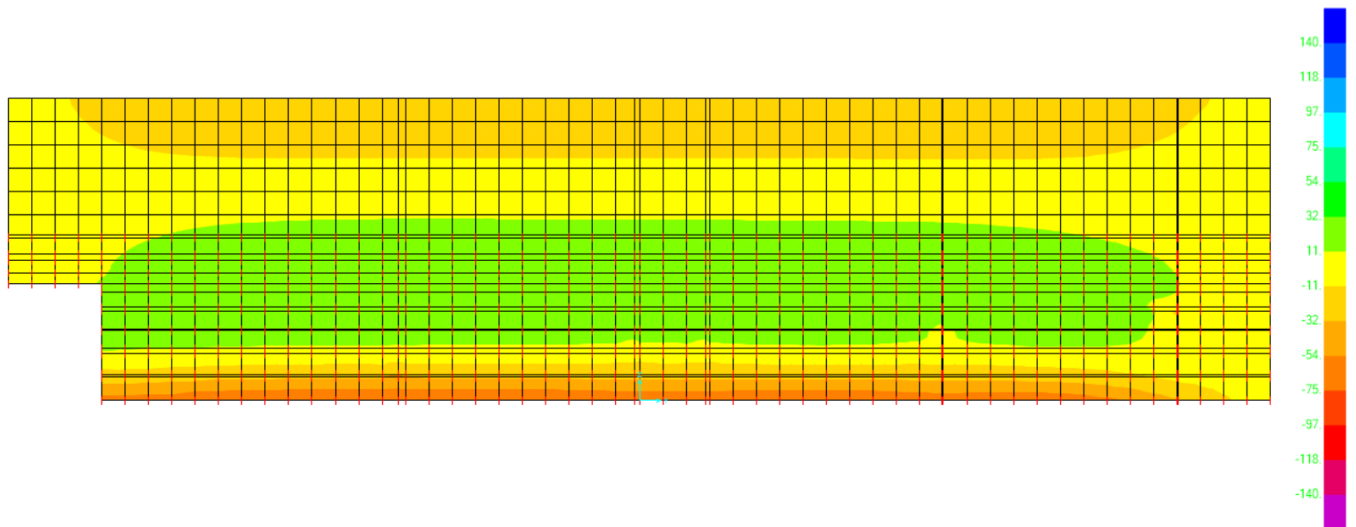


**Figura 11.4 Momento flettente M11 Parete 3**

PROGETTAZIONE ATI:

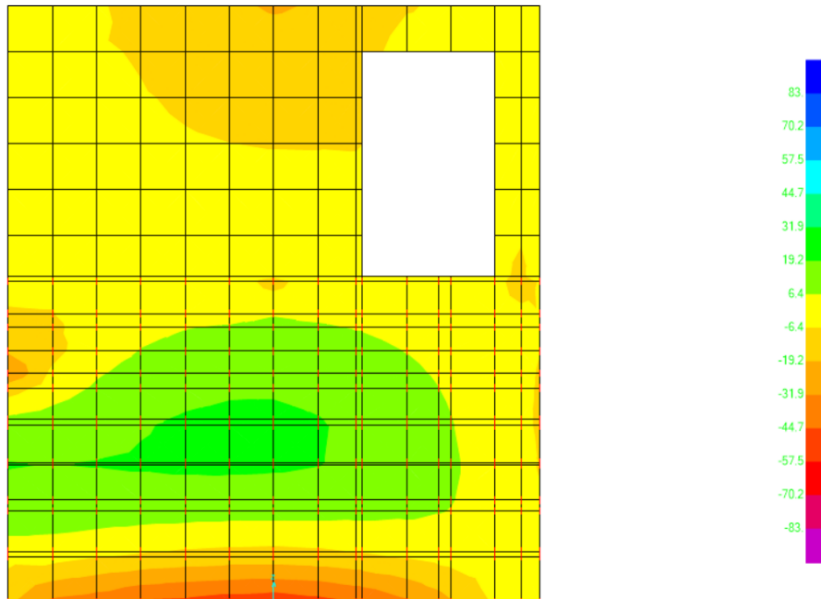


**Figura 11.5 Momento flettente M11 Parete 4**

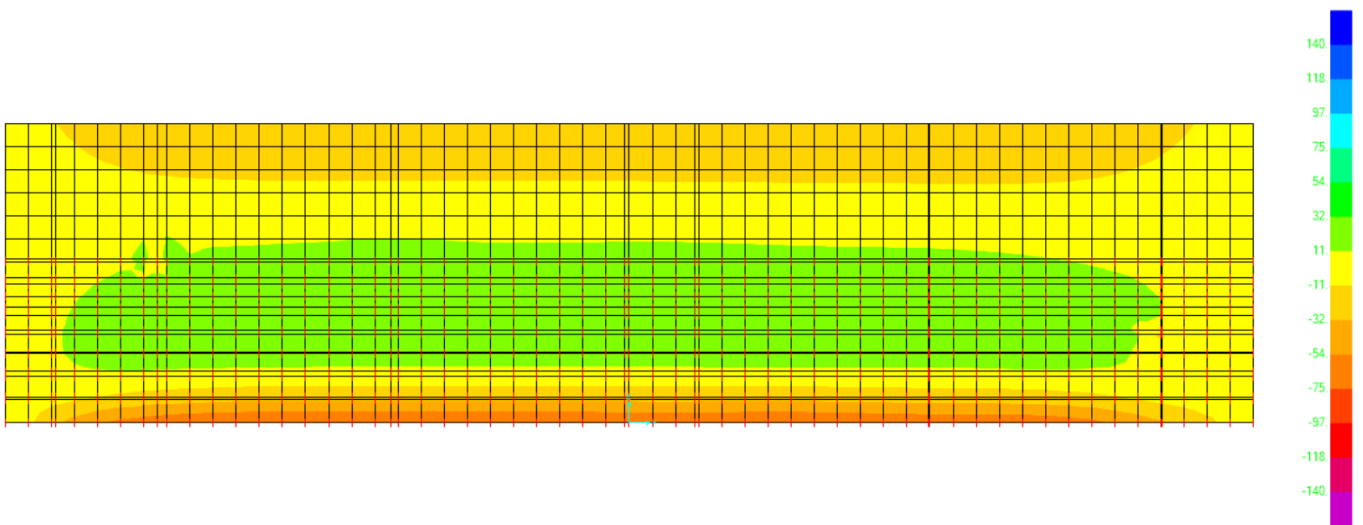


**Figura 11.6 Momento flettente M22 Parete 1**

PROGETTAZIONE ATI:

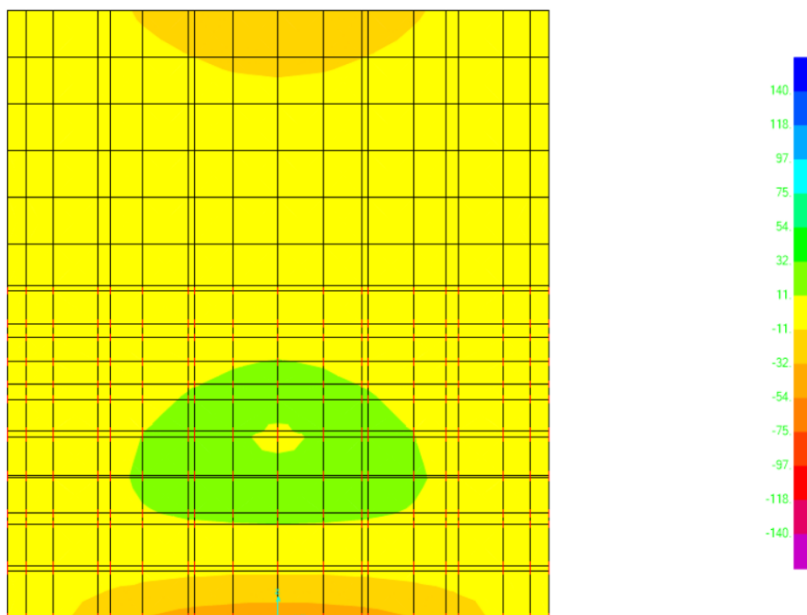


**Figura 11.7 Momento flettente M22 Parete 2**



**Figura 11.8 Momento flettente M22 Parete 3**

PROGETTAZIONE ATI:

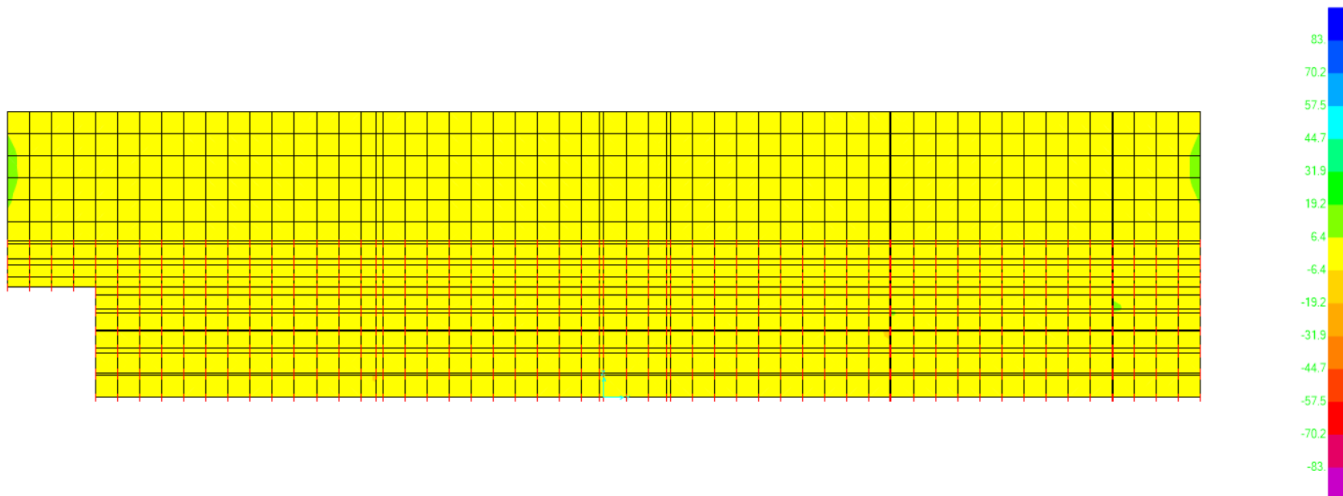


**Figura 11.9 Momento flettente M22 Parete 4**

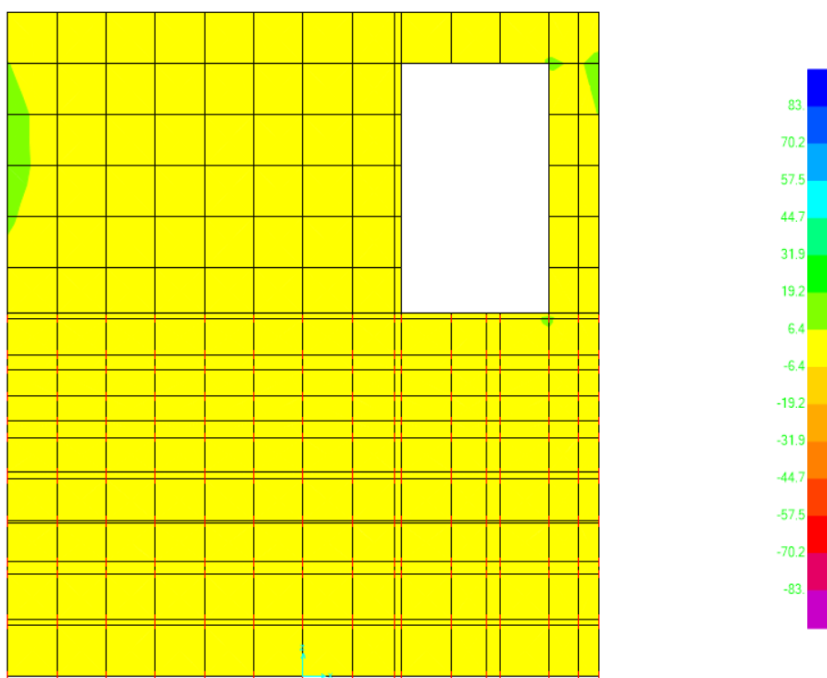
PROGETTAZIONE ATI:



- Momento flettente – Load cases: *SLU\_no spinte*

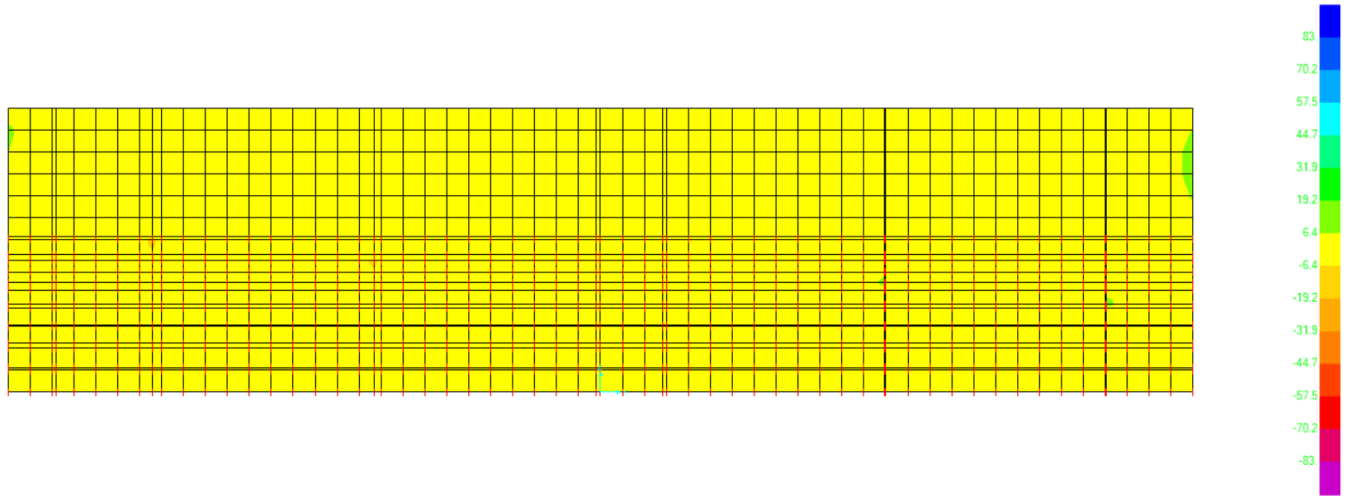


**Figura 11.10 Momento flettente M11 Parete 1**

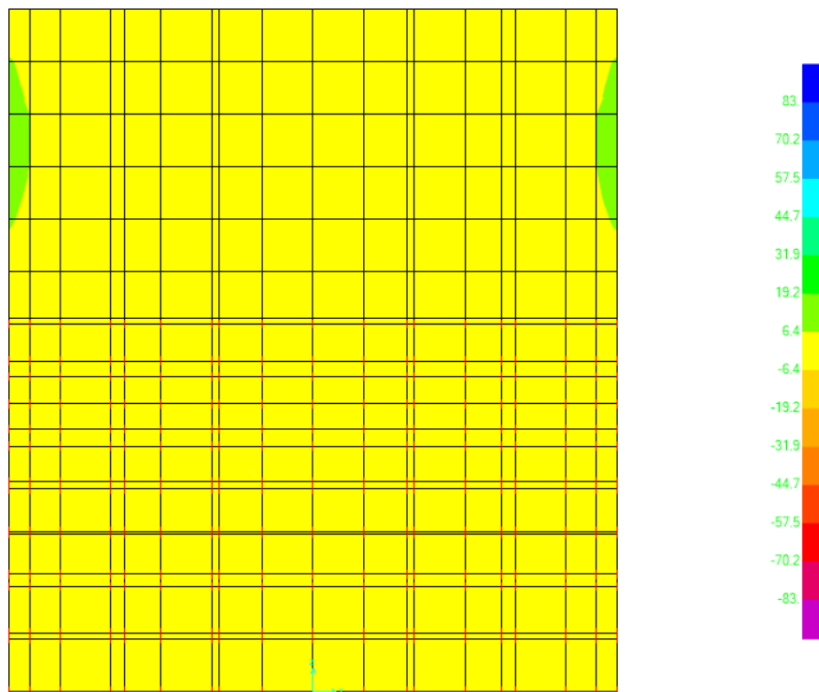


**Figura 11.11 Momento flettente M11 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:

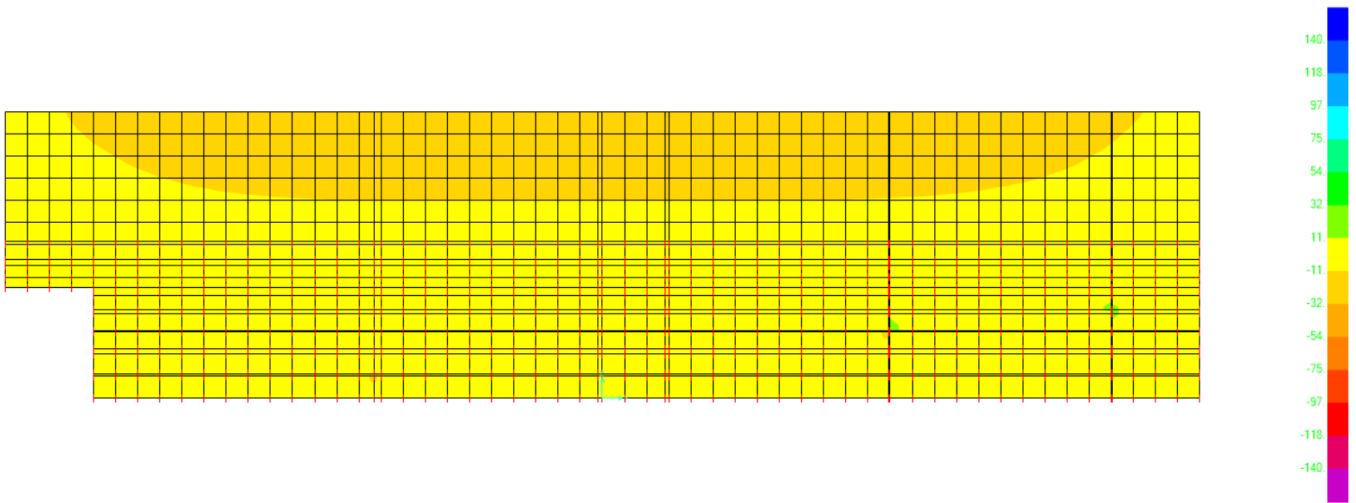


**Figura 11.12 Momento flettente M11 Parete 3**

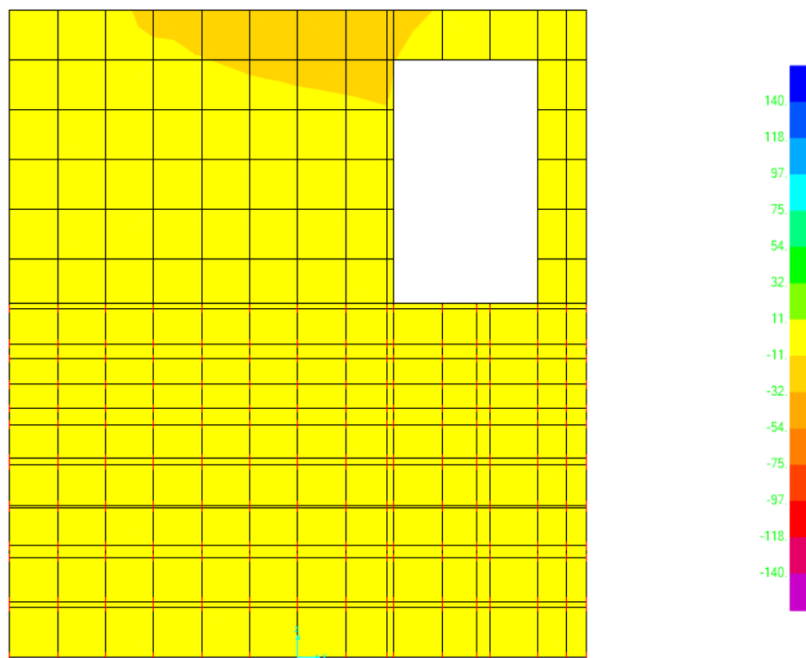


**Figura 11.13 Momento flettente M11 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

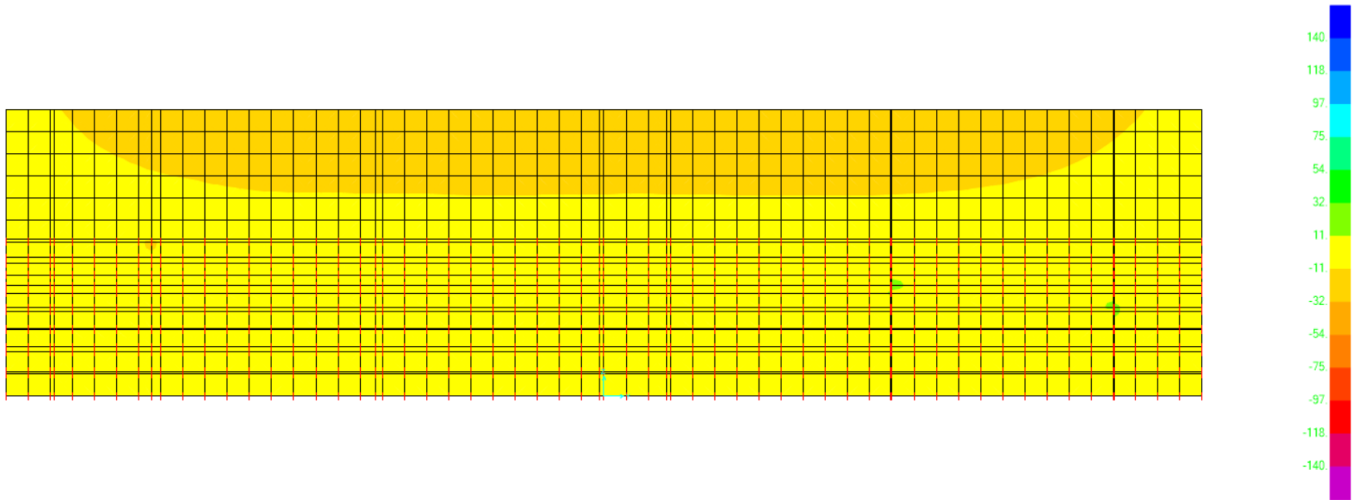


**Figura 11.14 Momento flettente M22 Parete 1**

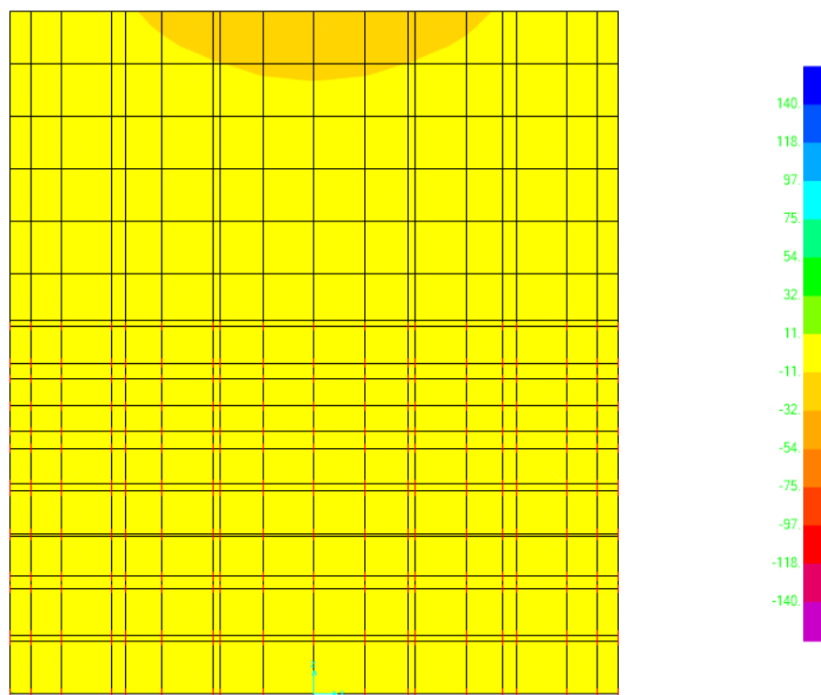


**Figura 11.15 Momento flettente M22 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:



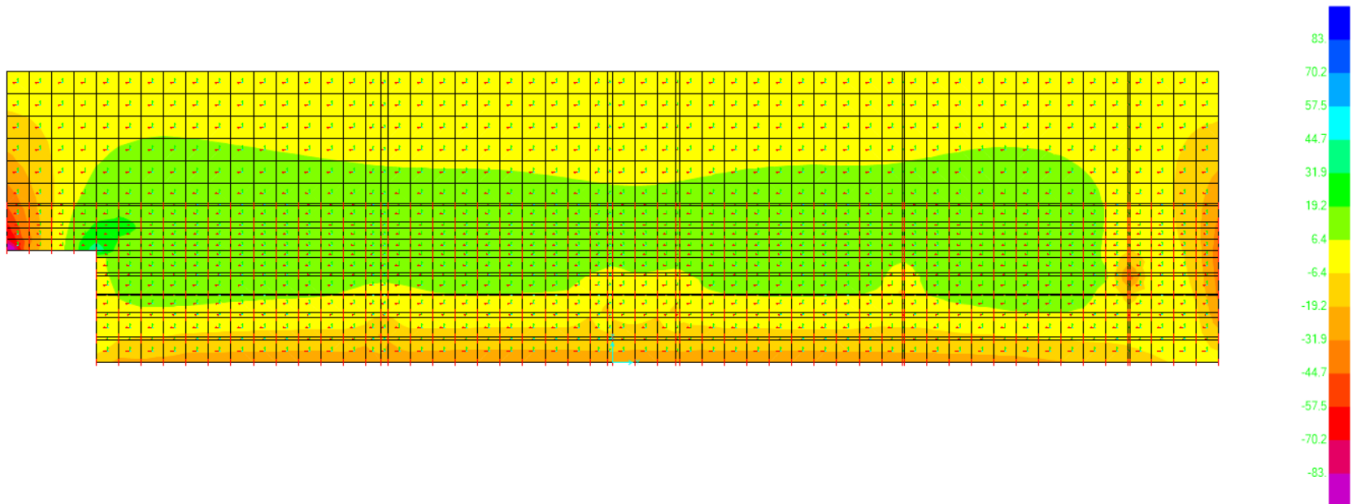
**Figura 11.16 Momento flettente M22 Parete 3**



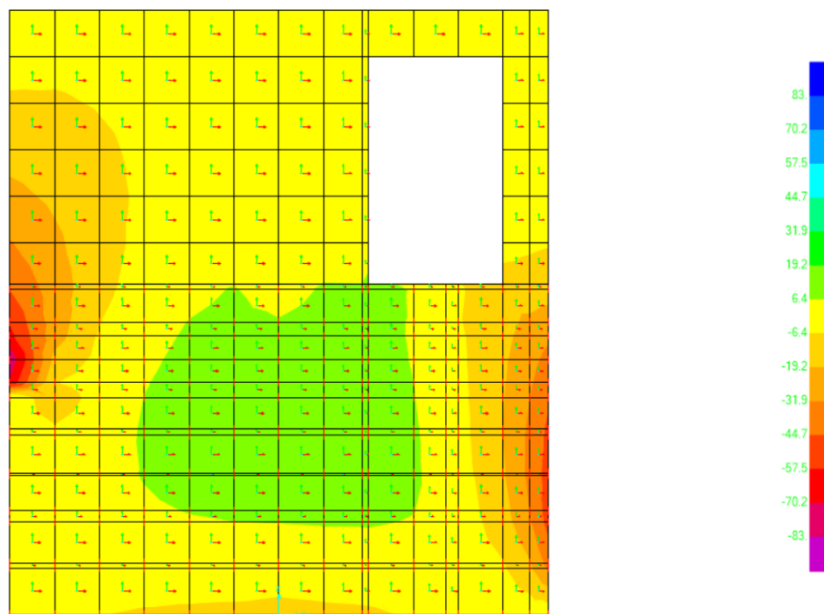
**Figura 11.17 Momento flettente M22 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases:  $Ex+$

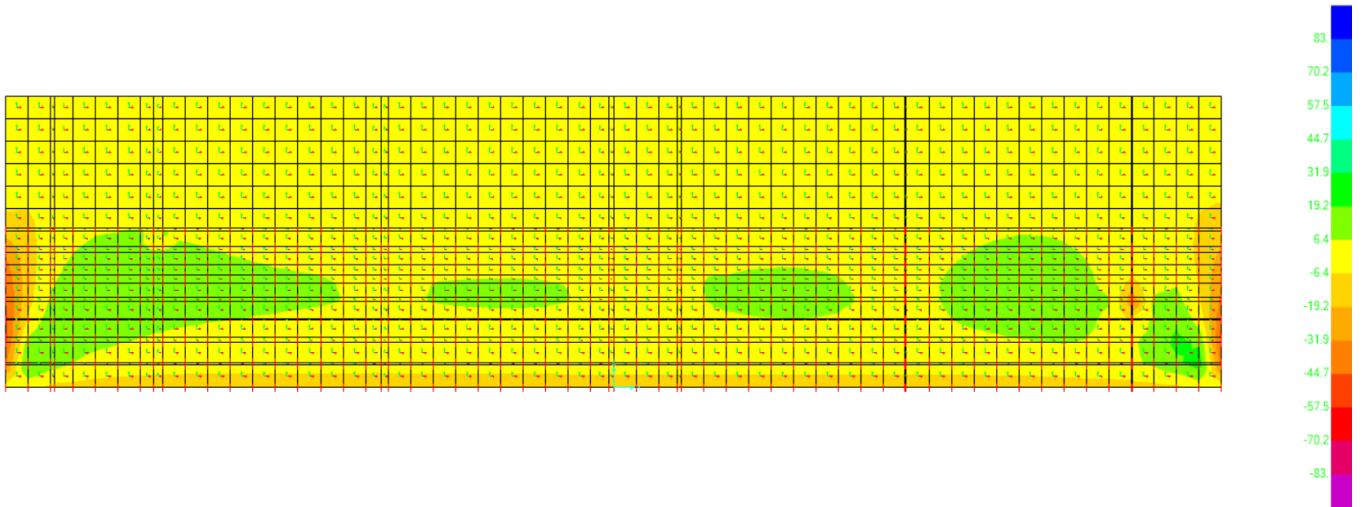


**Figura 11.18 Momento flettente M11 Parete 1**

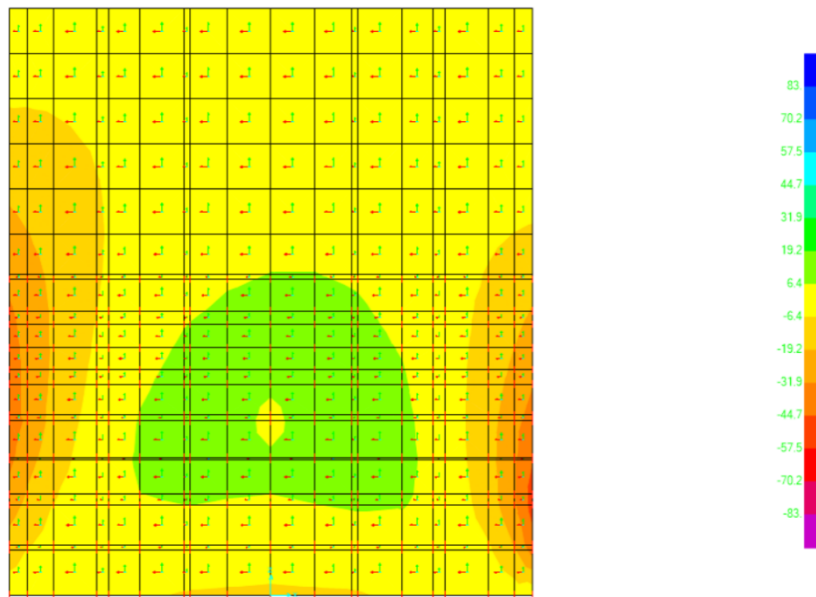


**Figura 11.19 Momento flettente M11 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:

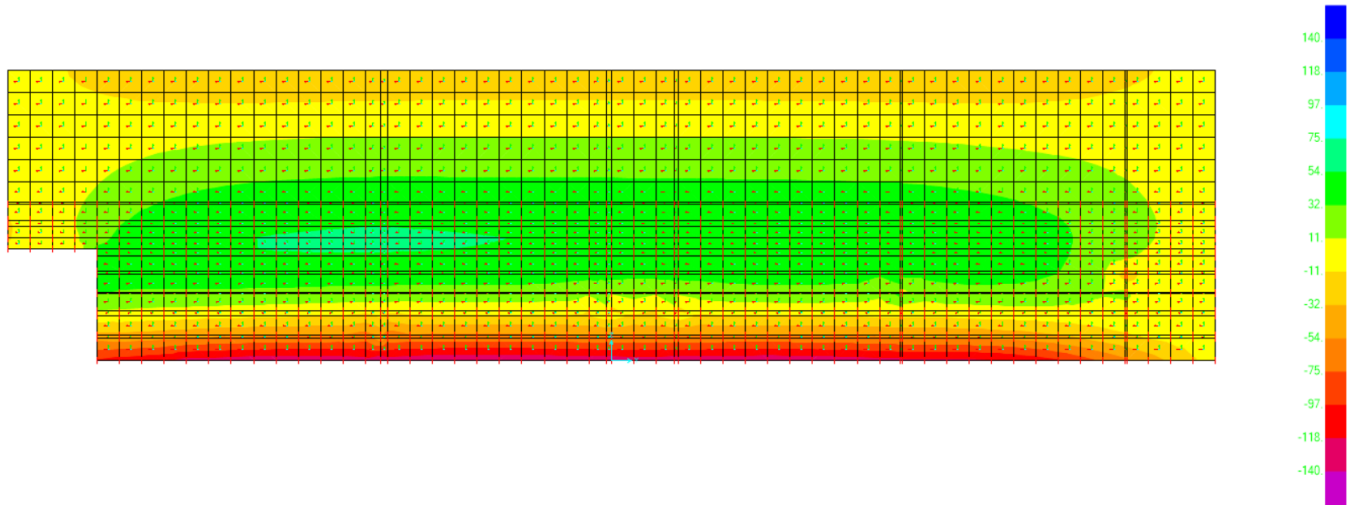


**Figura 11.20 Momento flettente M11 Parete 3**

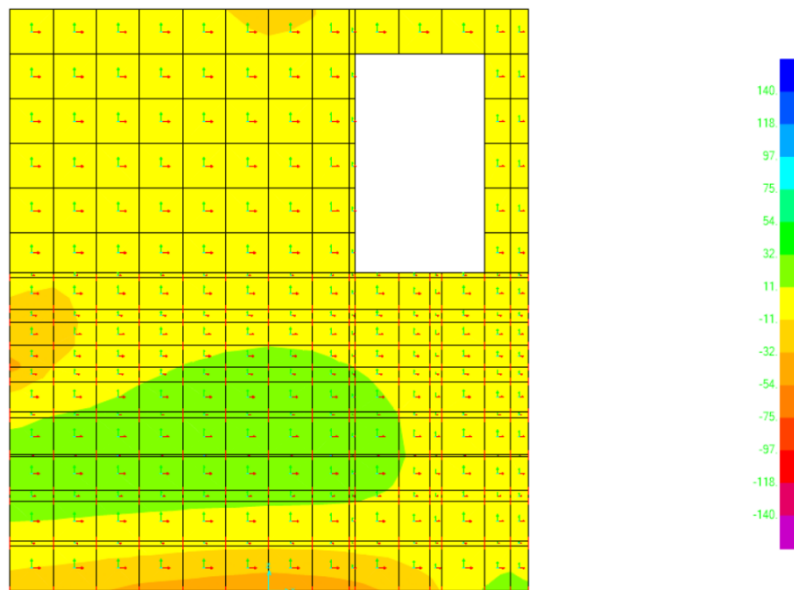


**Figura 11.21 Momento flettente M11 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

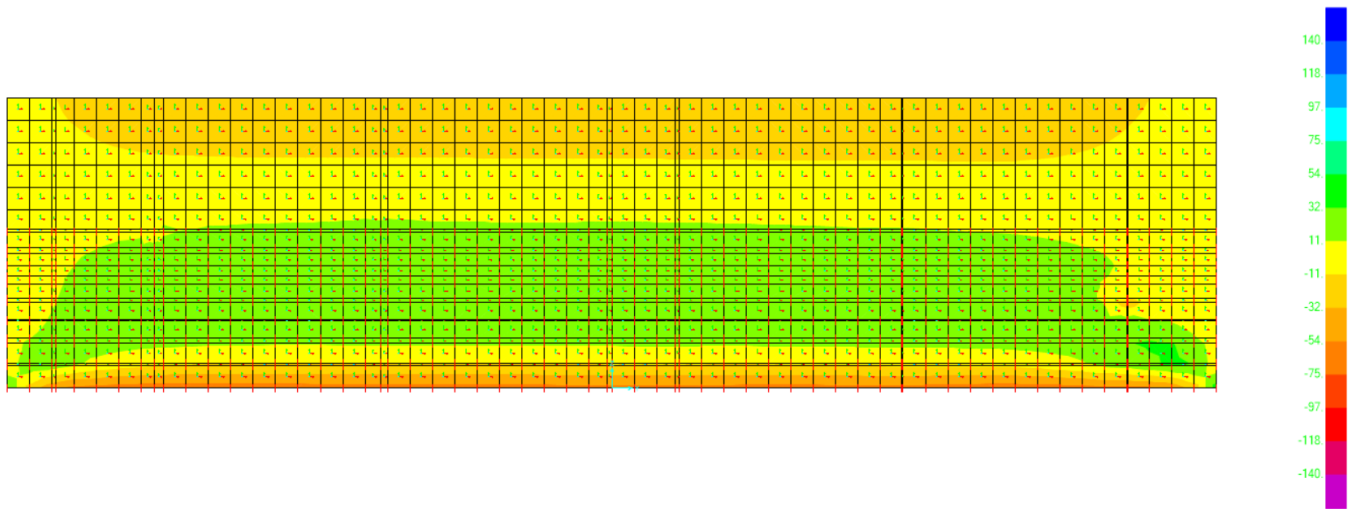


**Figura 11.22 Momento flettente M22 Parete 1**

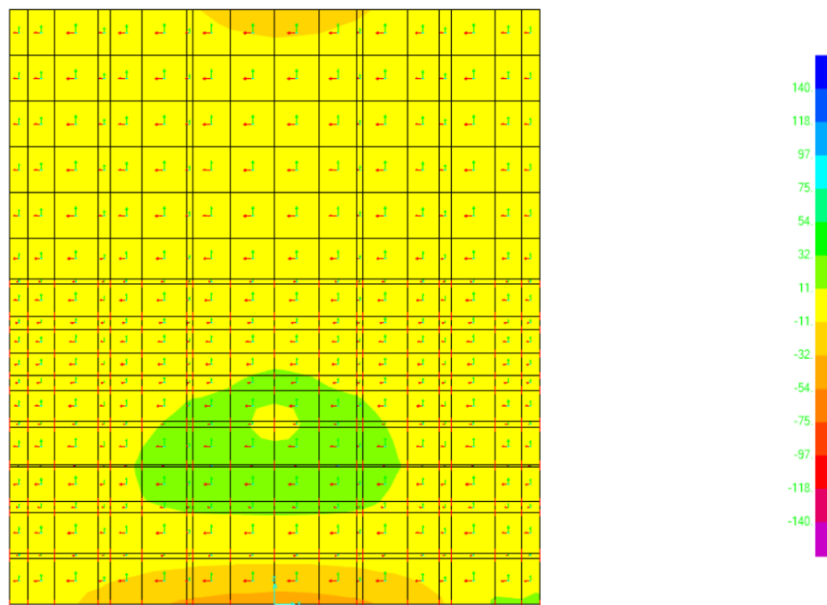


**Figura 11.23 Momento flettente M22 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 11.24 Momento flettente M22 Parete 3**

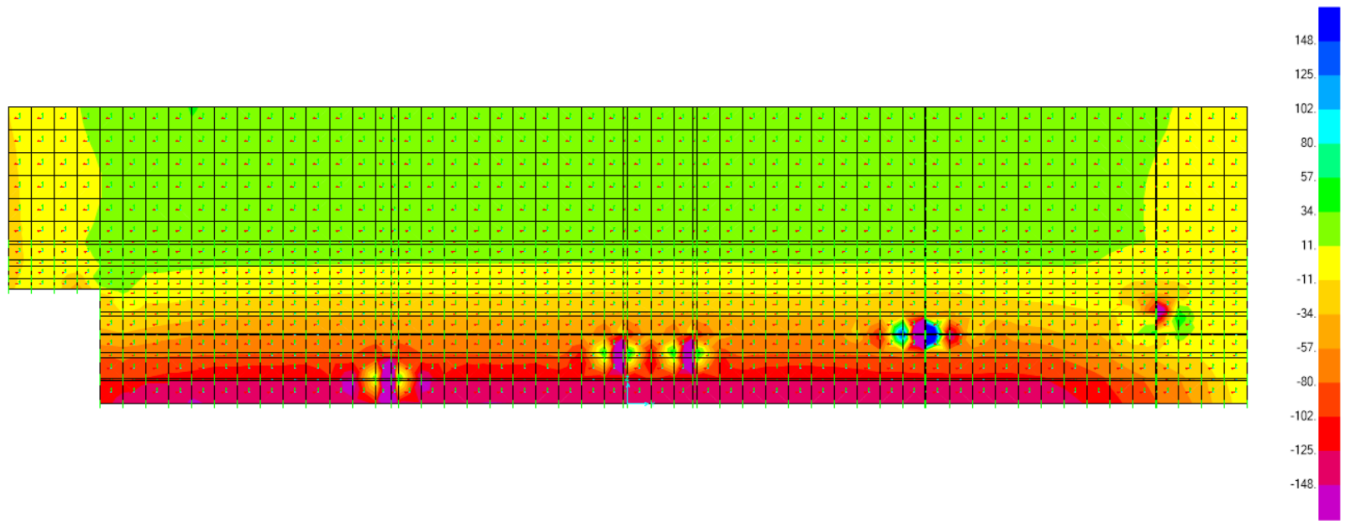


**Figura 11.25 Momento flettente M22 Parete 4**

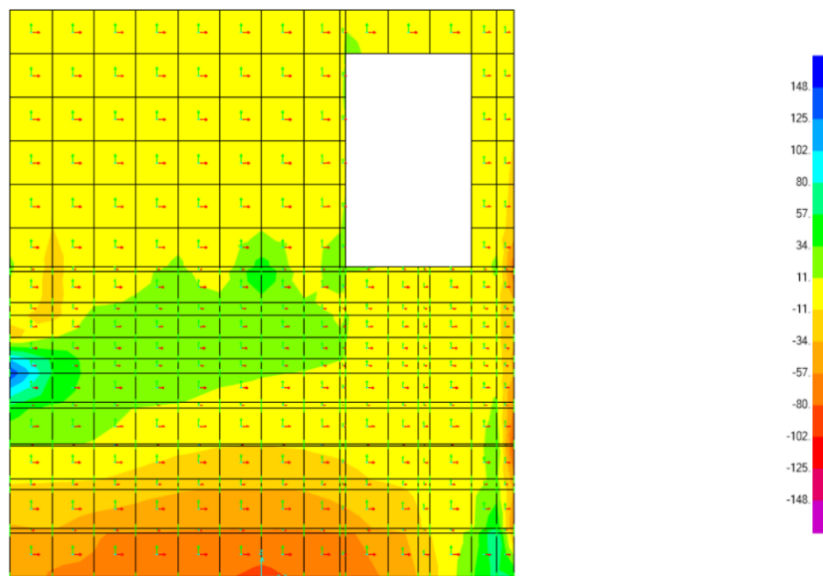
PROGETTAZIONE ATI:



- Taglio – Load cases: *Ex+*

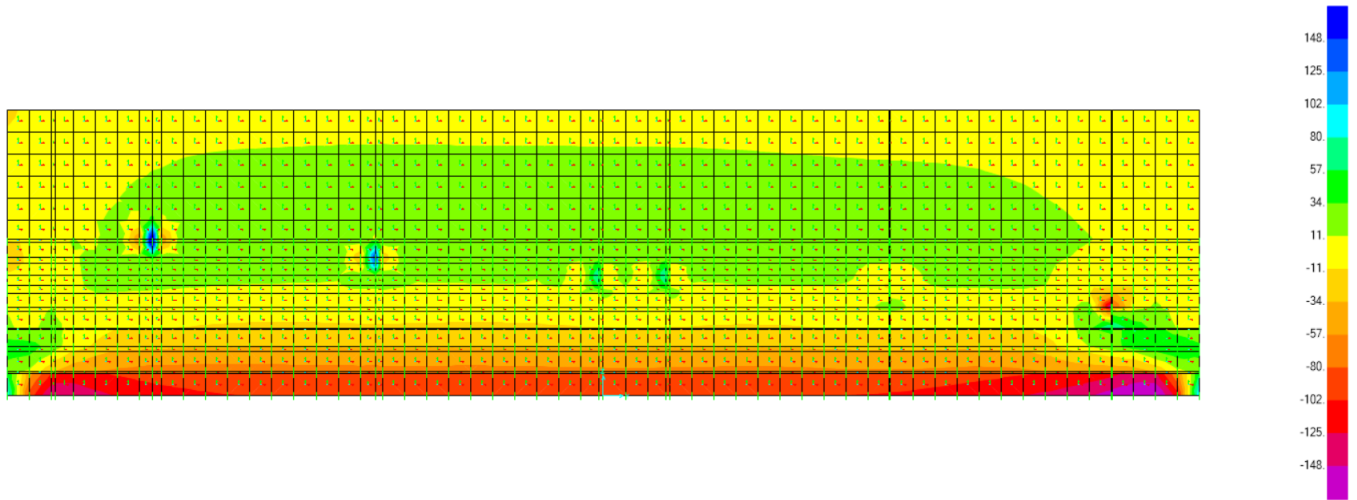


**Figura 11.26 Taglio V23 Parete 1**

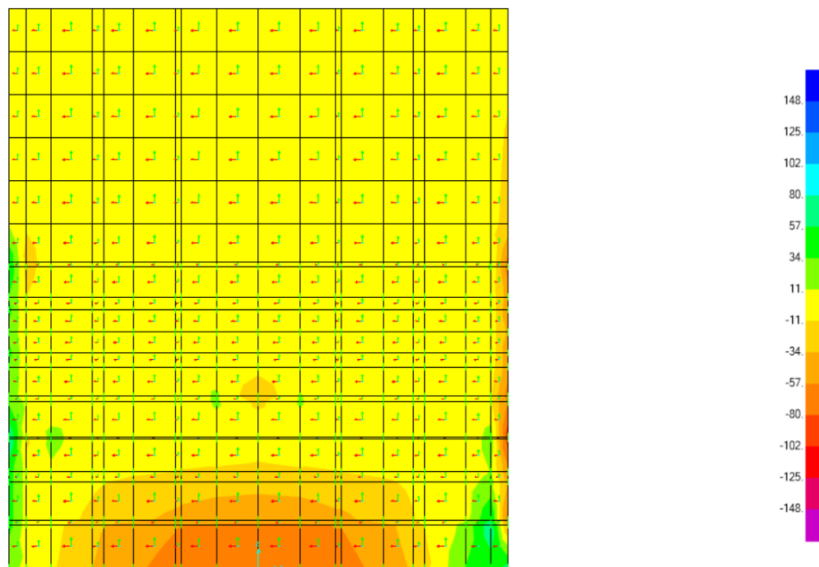


**Figura 11.27 Taglio V23 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 11.28 Taglio V23 Parete 3**



**Figura 11.29 Taglio V23 Parete 3**

PROGETTAZIONE ATI:

PLATEA

- Momento flettente – Load cases: *SLU\_1*

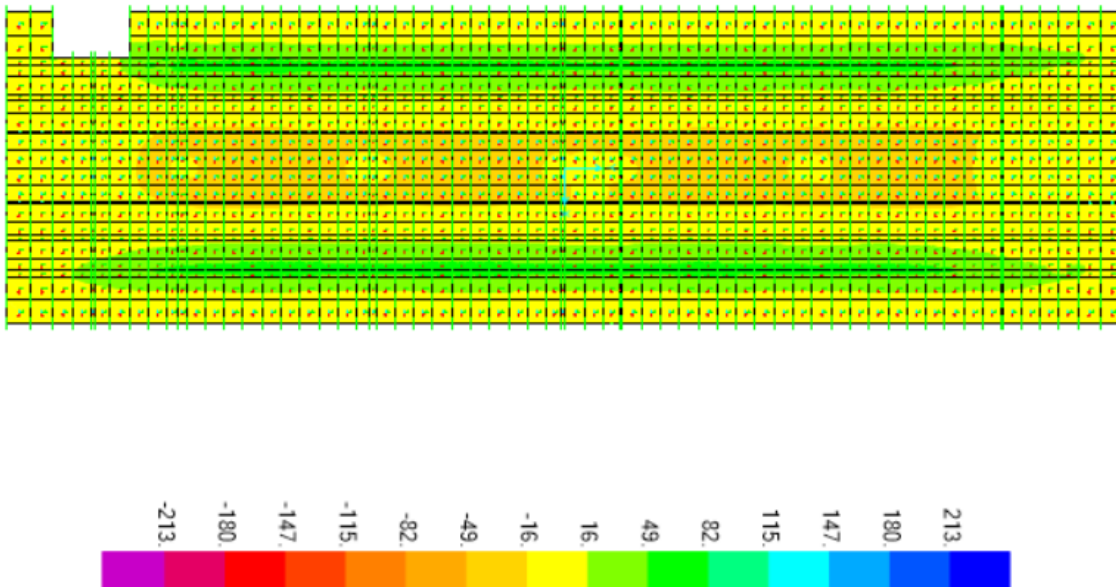


Figura 11.30 Momento flettente M11 Platea

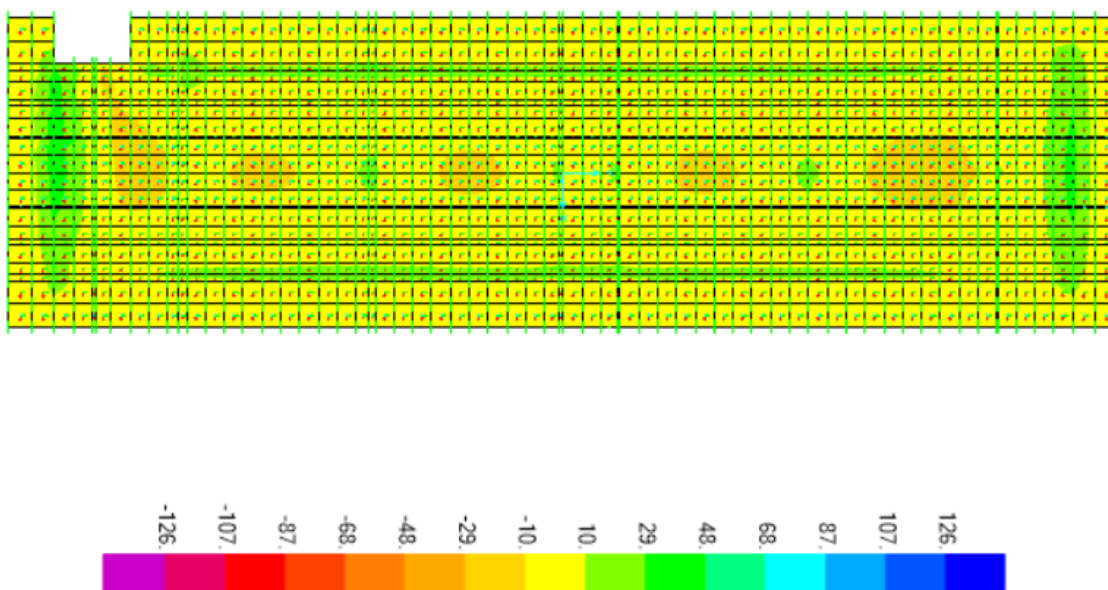
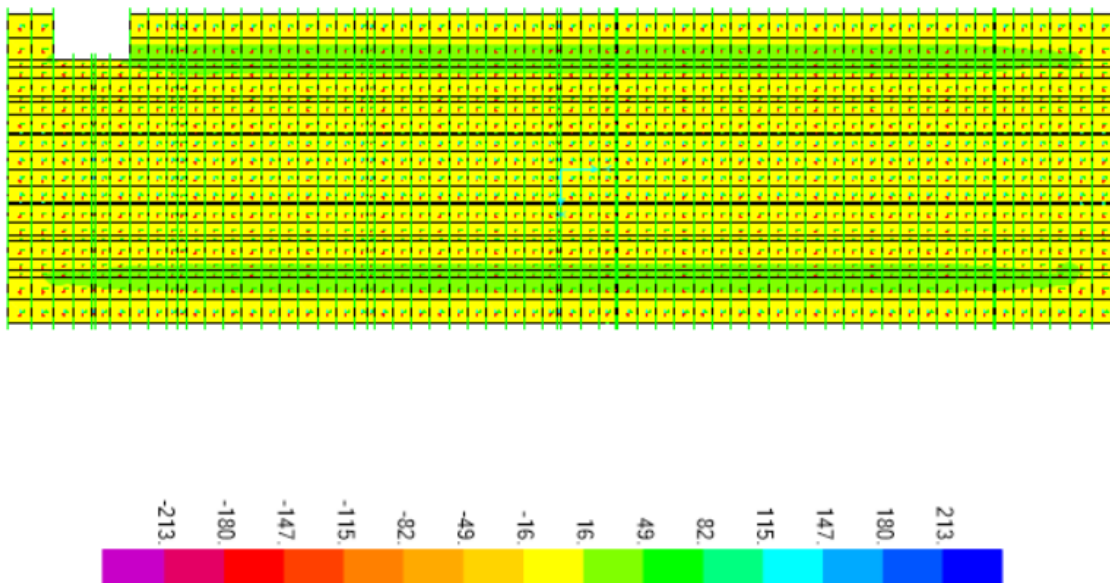


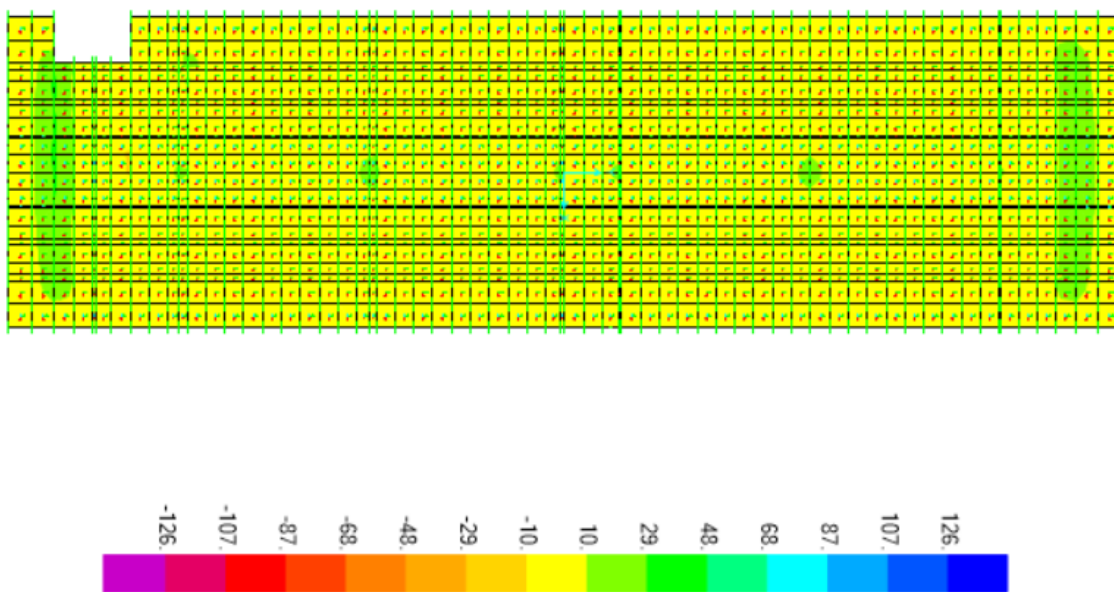
Figura 11.31 Momento flettente M22 Platea

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLU\_no spinte*



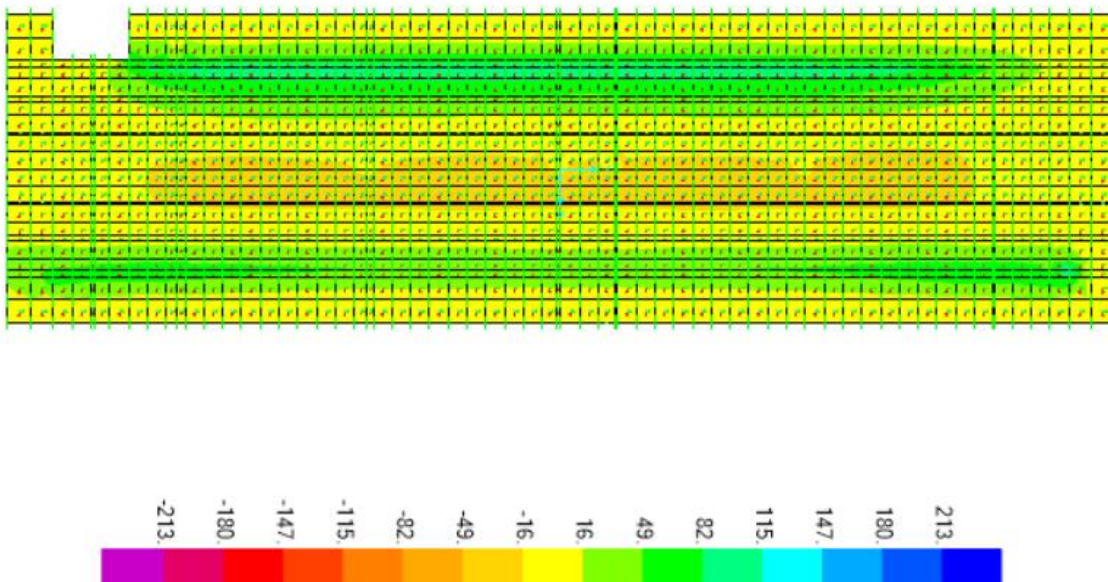
**Figura 11.32 Momento flettente M11 Platea**



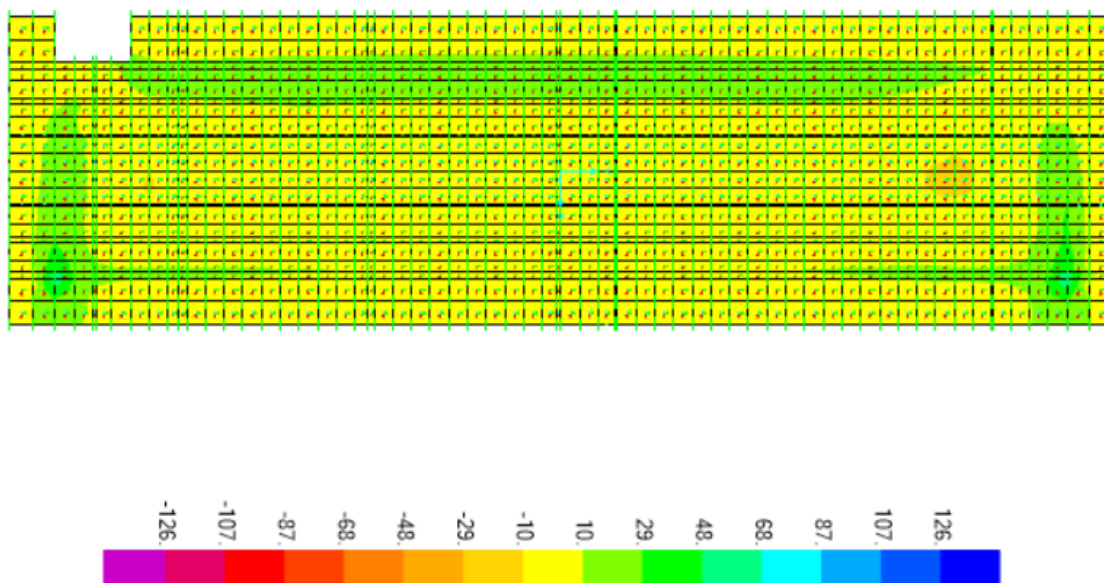
**Figura 11.33 Momento flettente M22 Platea**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *Ex+*



**Figura 11.34 Momento flettente M11 Platea**



**Figura 11.35 Momento flettente M22 Platea**

PROGETTAZIONE ATI:

- Taglio – Load cases: *Ex+*

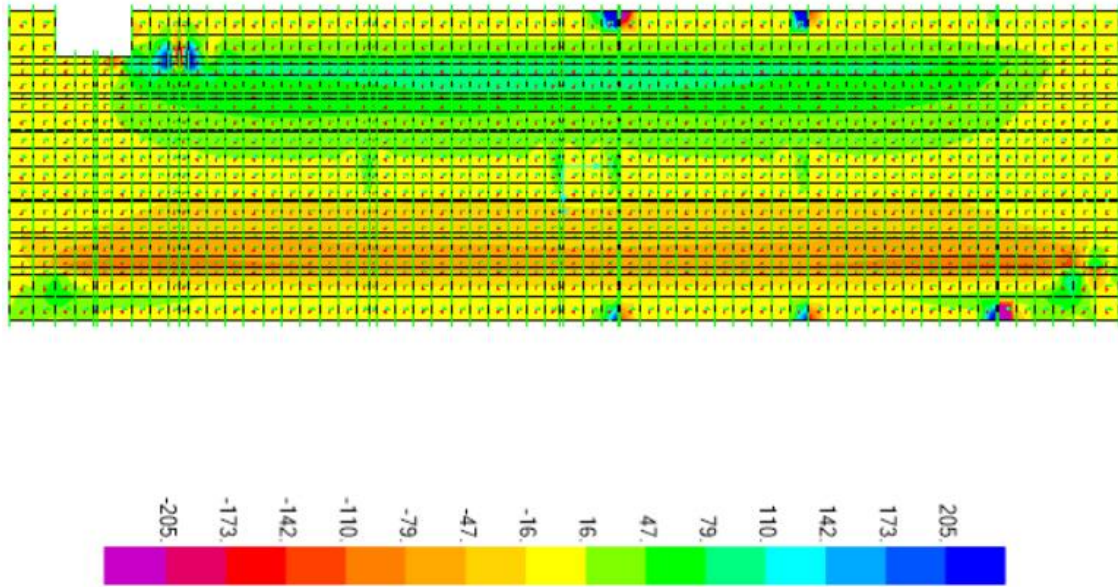


Figura 11.36 Taglio V13 Parete 3

## COPERTURA

- Momento flettente – Load cases: *SLU\_1*

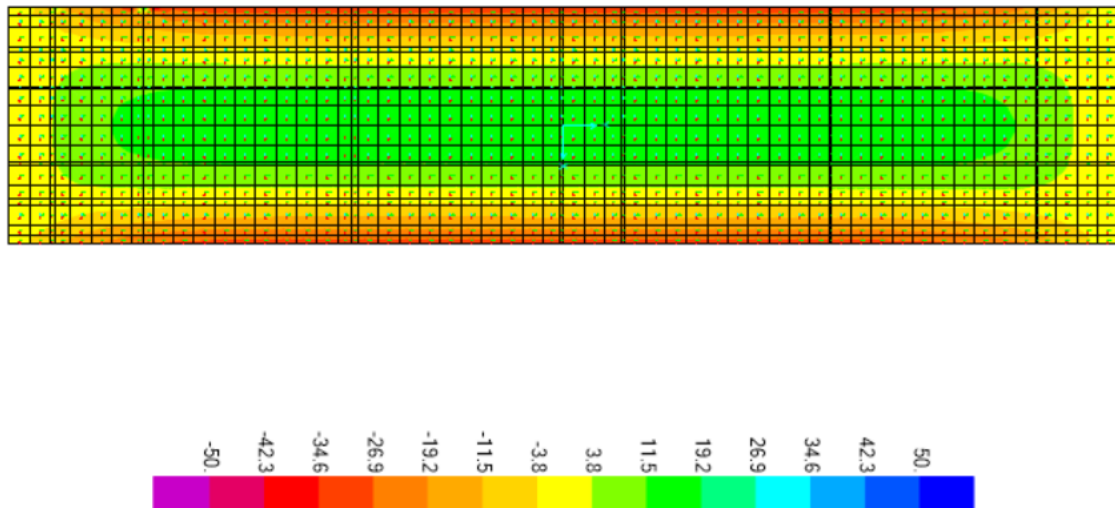
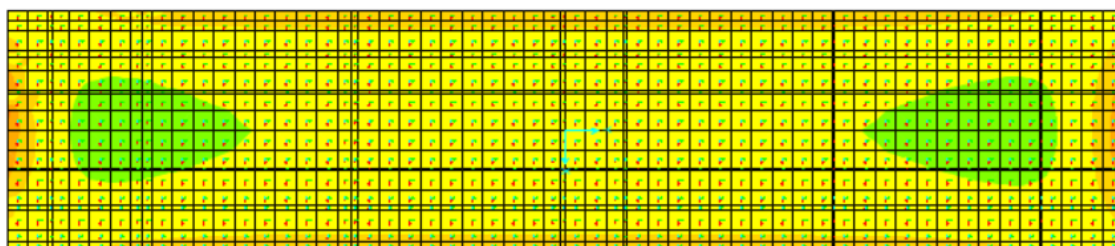


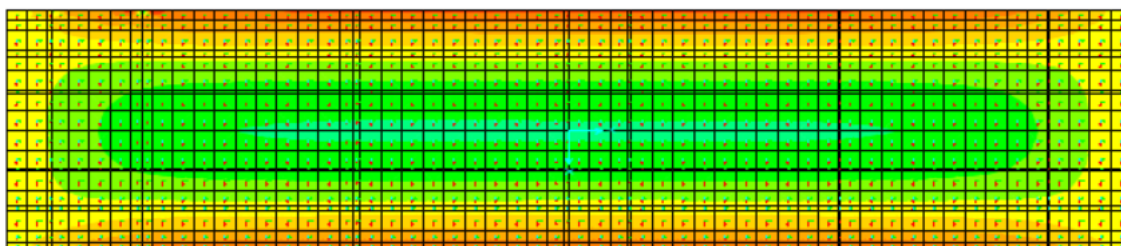
Figura 11.37 Momento flettente M11 Copertura

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 11.38 Momento flettente M22 Copertura**

- Momento flettente – Load cases: *SLU\_no spinte*



**Figura 11.39 Momento flettente M11 Copertura**

PROGETTAZIONE ATI:

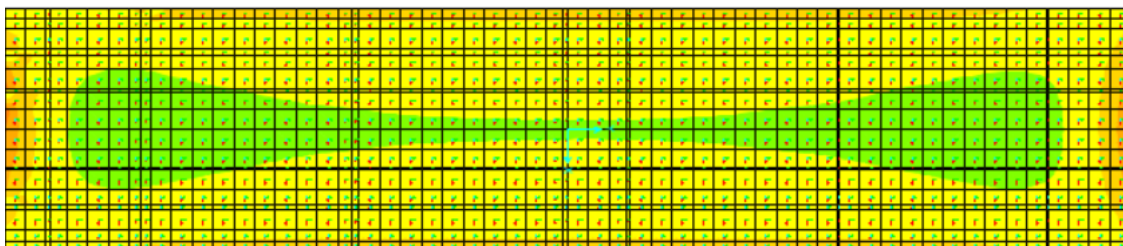


Figura 11.40 Momento flettente M22 Copertura

- Momento flettente – Load cases: *SLU\_no spinte*

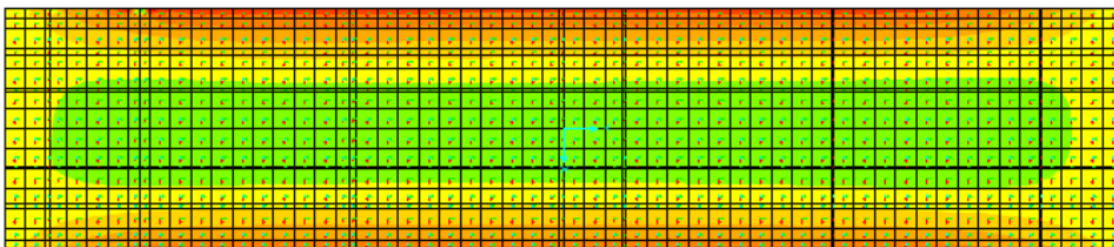


Figura 11.41 Momento flettente M11 Copertura

PROGETTAZIONE ATI:



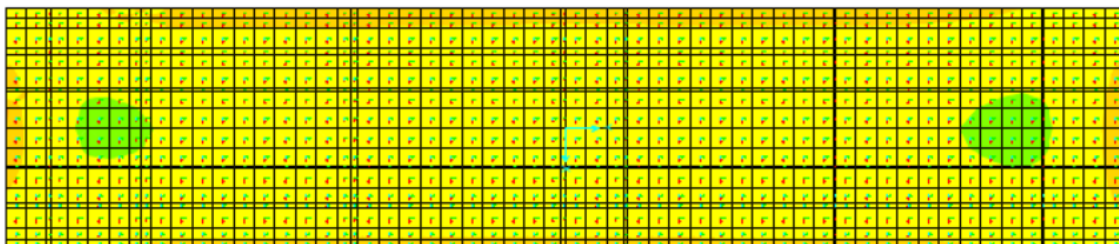


Figura 11.42 Momento flettente M11 Copertura

- Taglio – Load cases: *Ex+*

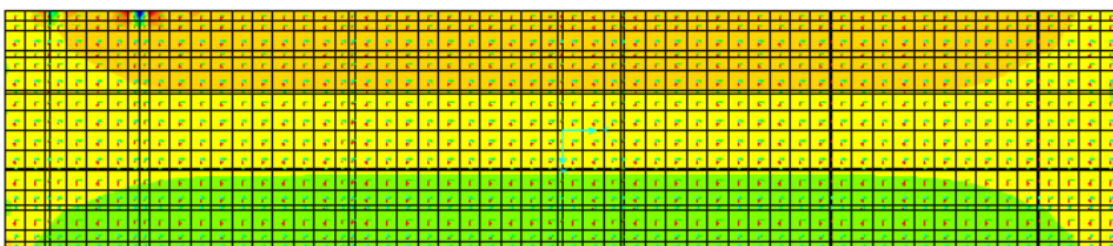


Figura 11.43 Momento flettente V13 Copertura

## 11.2. DIAGRAMMI DI SOLLECITAZIONE AGLI SLE

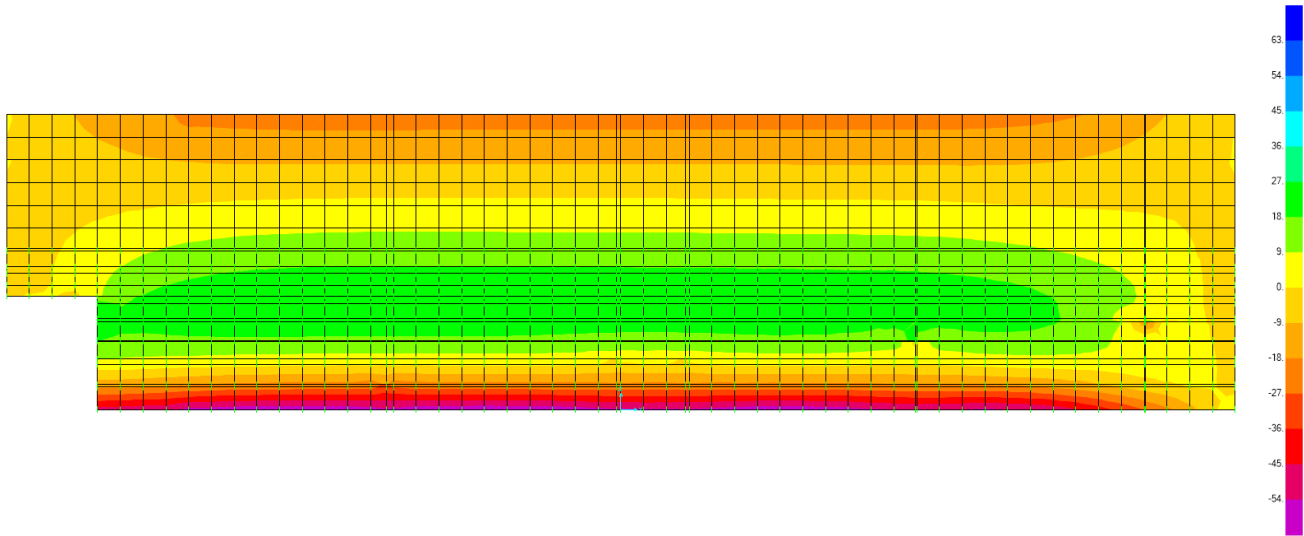
Nel presente capitolo sono riportati i risultati principali relativi alla distribuzione delle sollecitazioni, in termini di momento flettente per varie combinazioni di calcolo allo Stato Limite di Esercizio.

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni dati dai casi di carico impostati sul software di calcolo: *SLE*, in cui vengono considerate tutte le azioni presenti con i relativi coefficienti moltiplicativi (combinazione Rara, Frequente e Quasi Permanente); *SLE\_no spinta*, in cui vengono considerate tutte le azioni ad esclusione delle spinte.

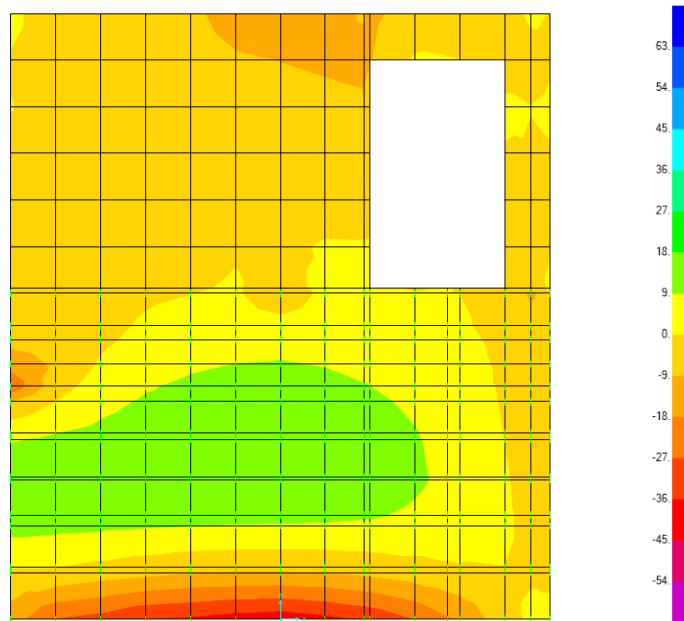
PROGETTAZIONE ATI:

PARETI

- Momento flettente – Load cases: *SLE-R*

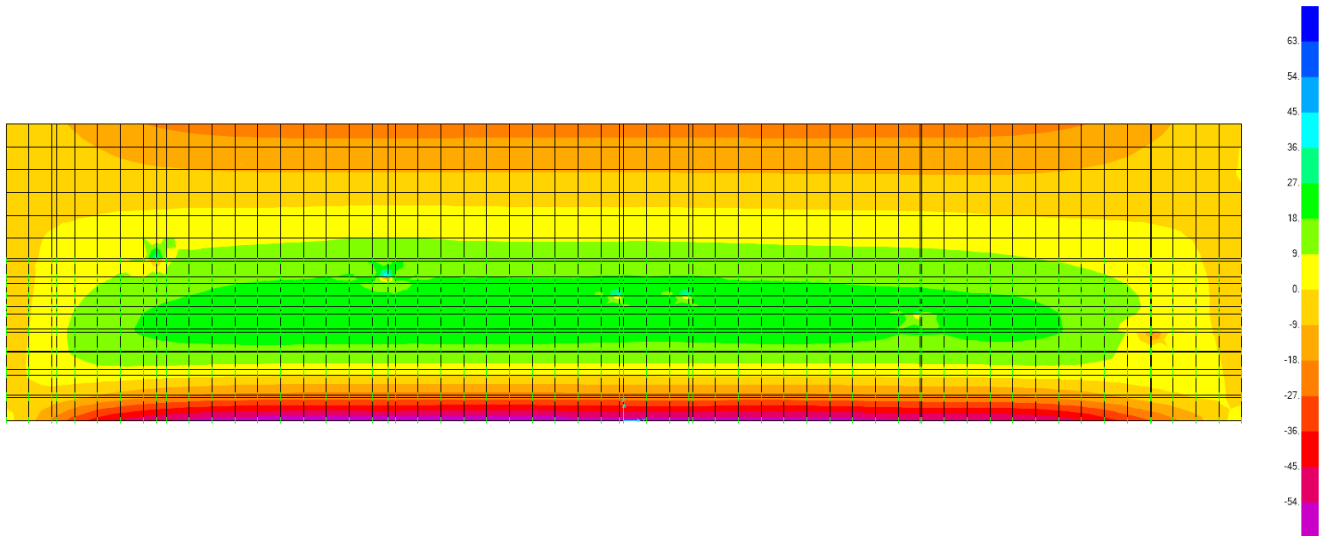


**Figura 11.44 Momento flettente M22 Parete 1**

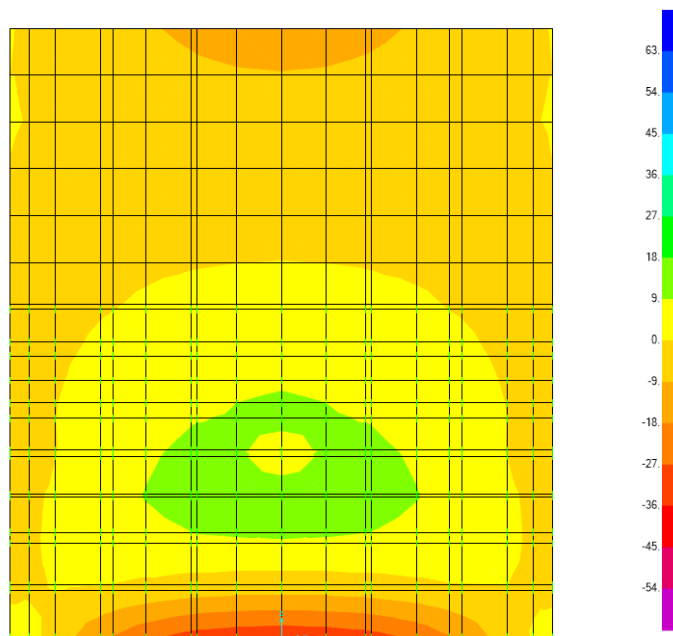


**Figura 11.45 Momento flettente M22 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:



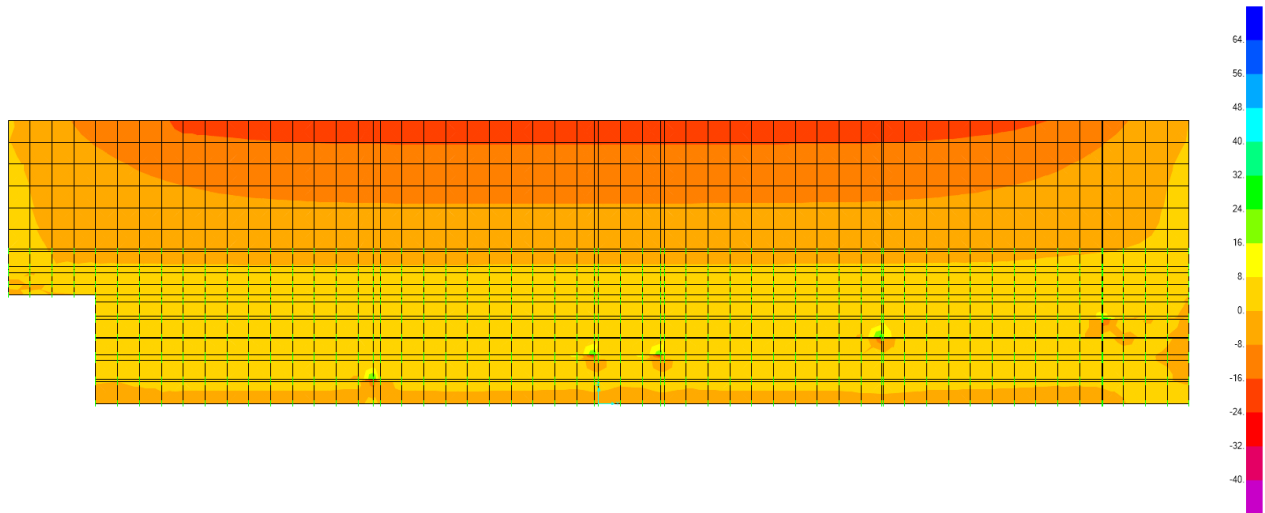
**Figura 11.46 Momento flettente M22 Parete 3**



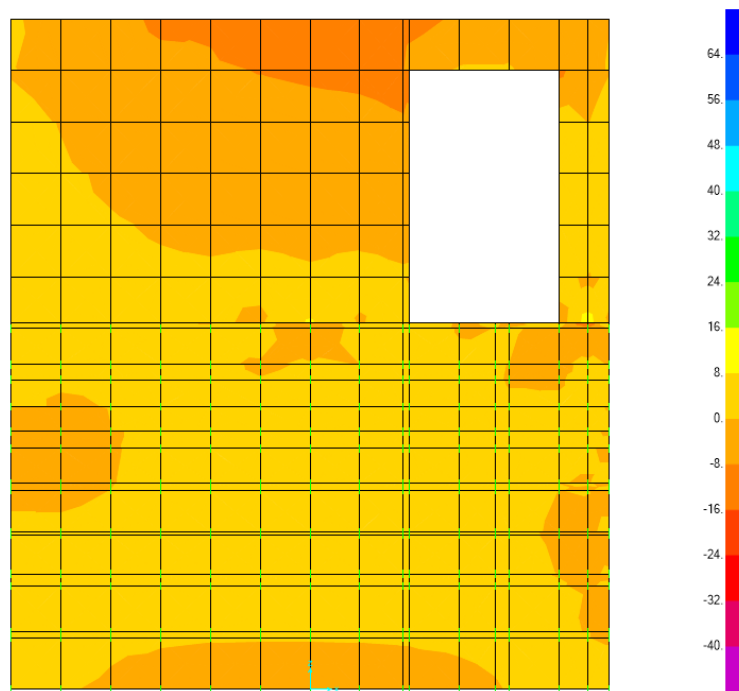
**Figura 11.47 Momento flettente M22 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-R\_no spinte*

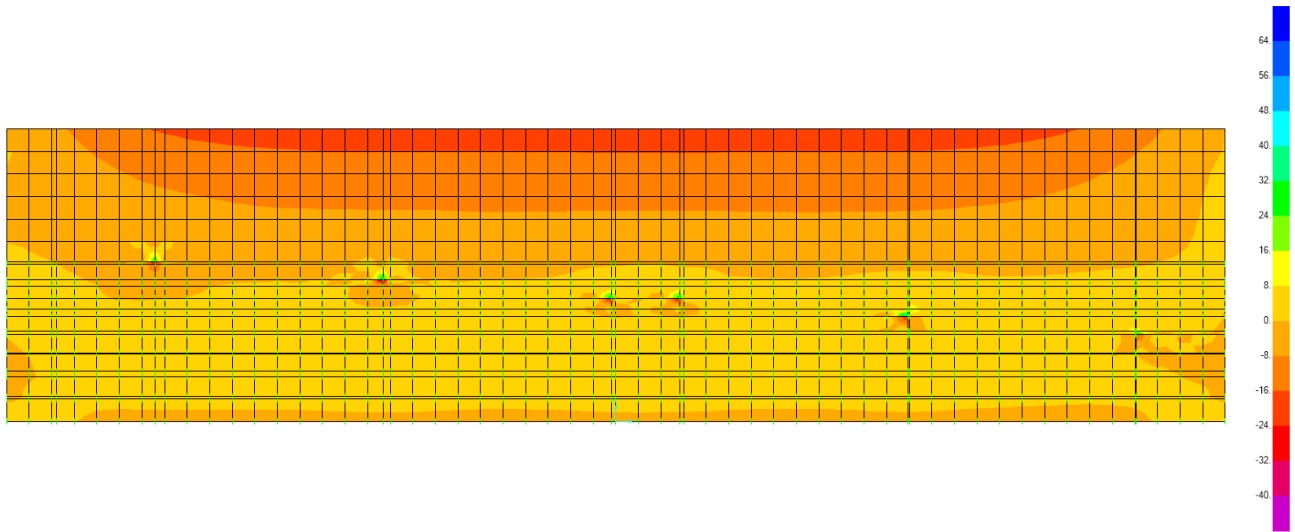


**Figura 11.48 Momento flettente M22 Parete 1**

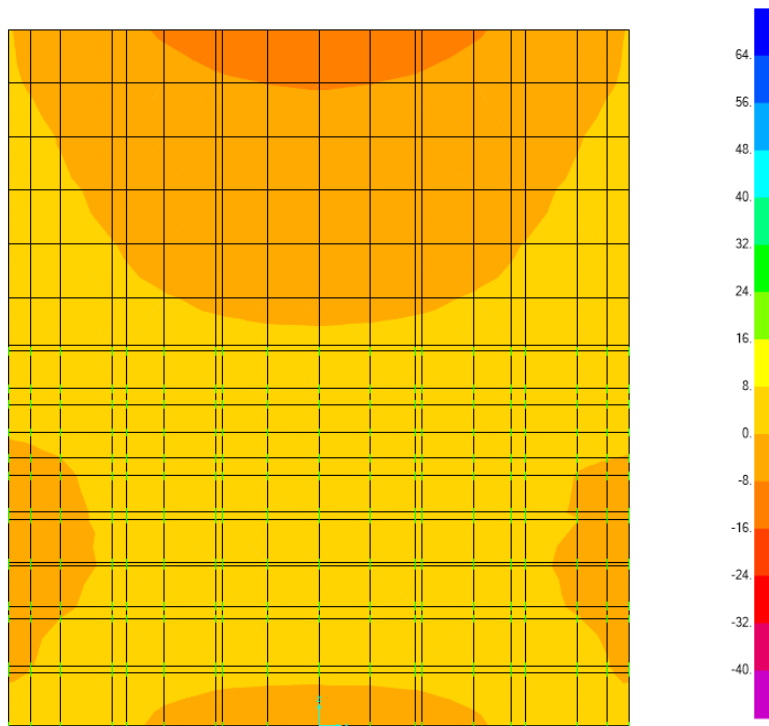


**Figura 11.49 Momento flettente M22 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 11.50 Momento flettente M22 Parete 3**



**Figura 11.51 Momento flettente M22 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-F*

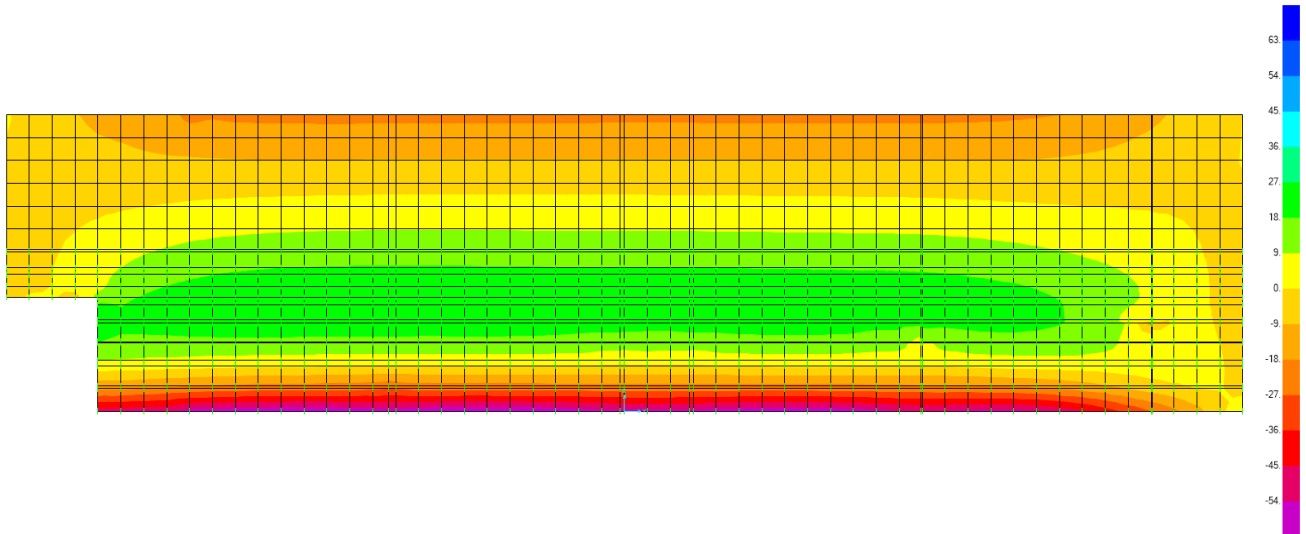


Figura 11.52 Momento flettente M22 Parete 1

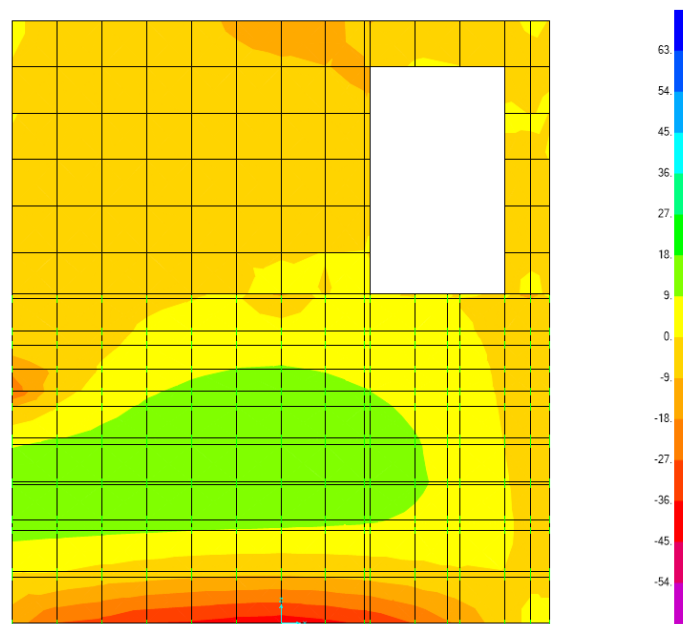
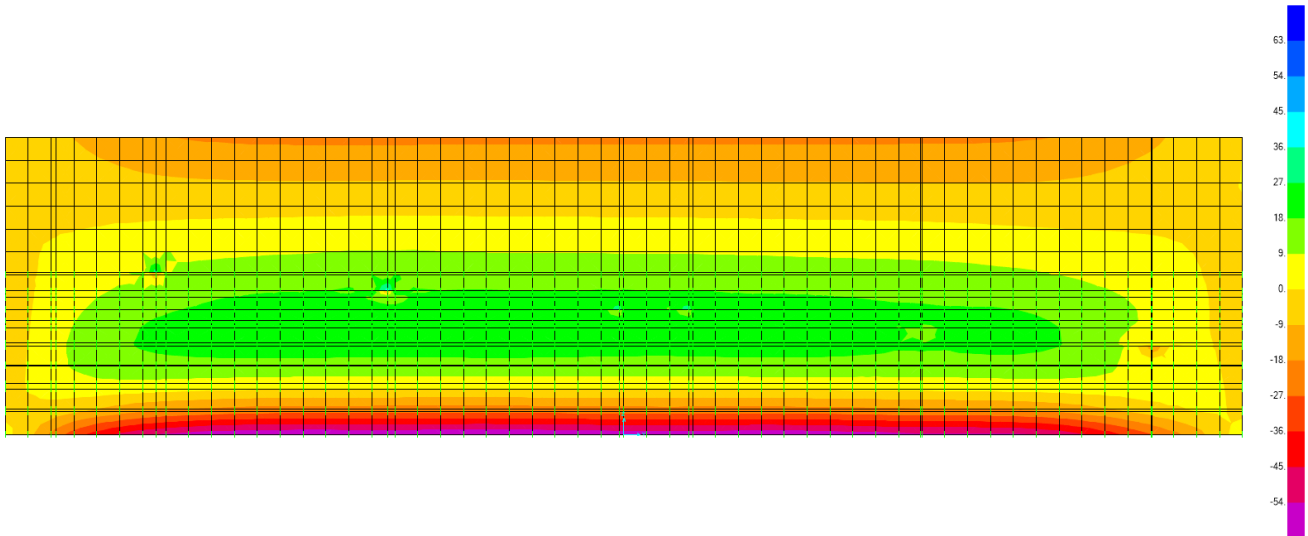
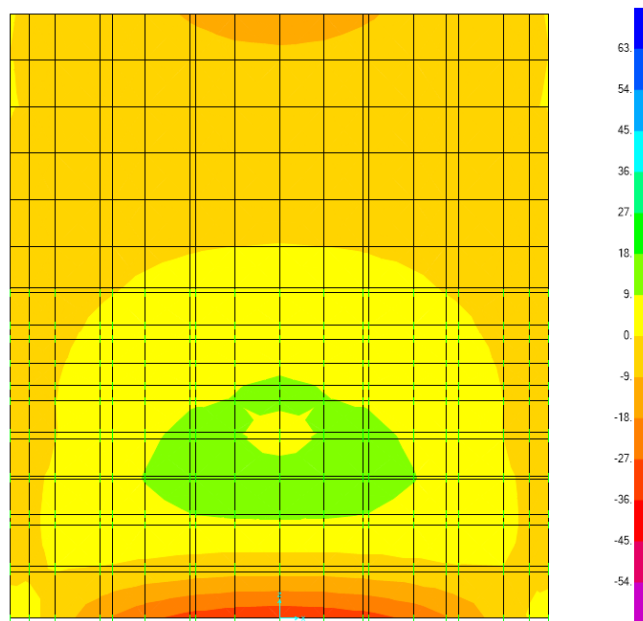


Figura 11.53 Momento flettente M22 Parete 2

PROGETTAZIONE ATI:



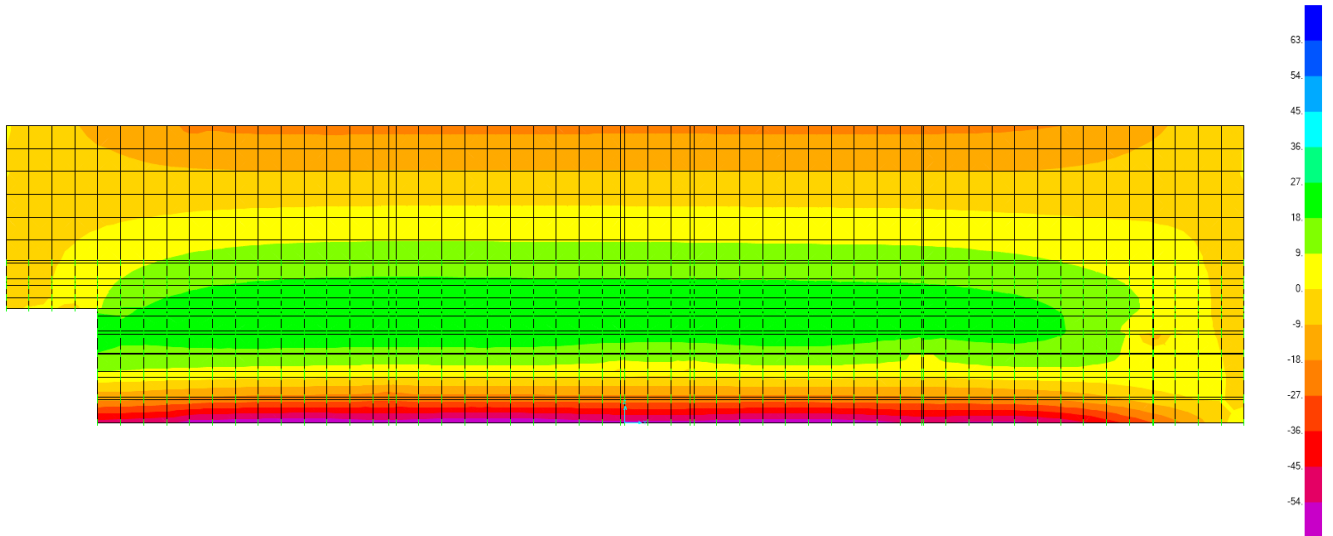
**Figura 11.54 Momento flettente M22 Parete 3**



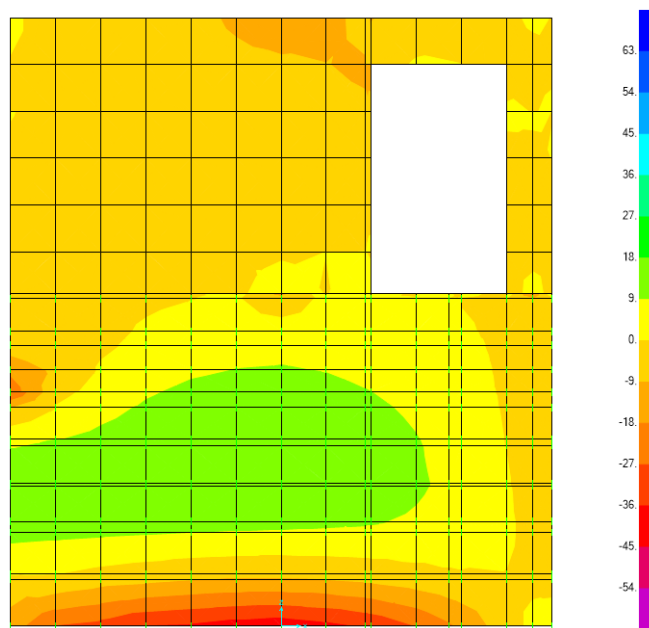
**Figura 11.55 Momento flettente M22 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-QP*



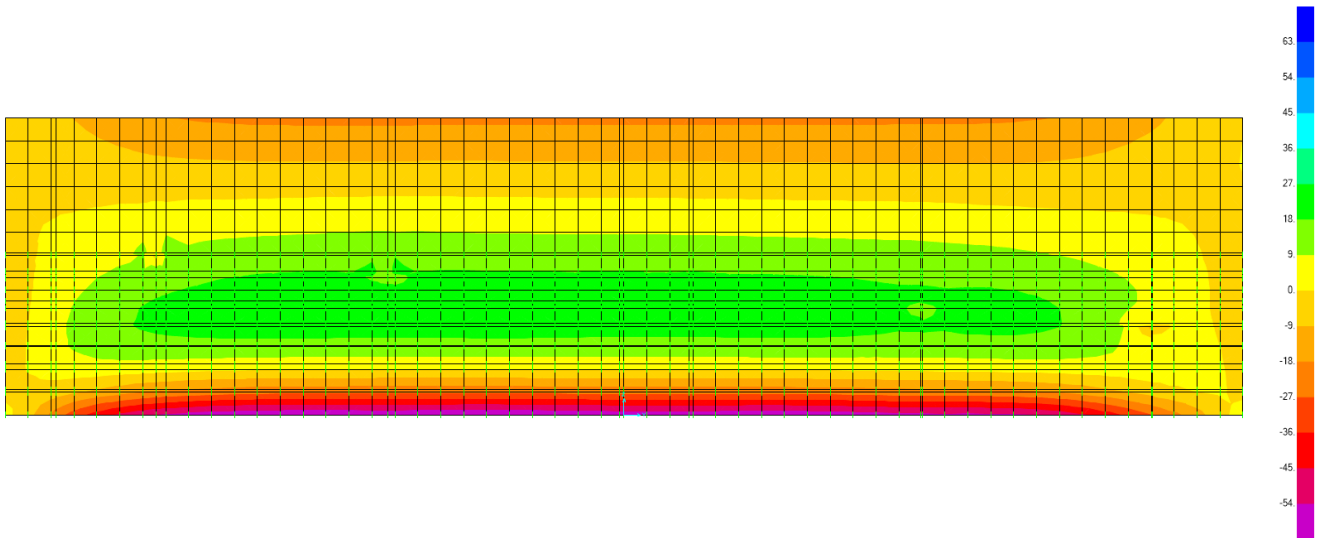
**Figura 11.56 Momento flettente M22 Parete 1**



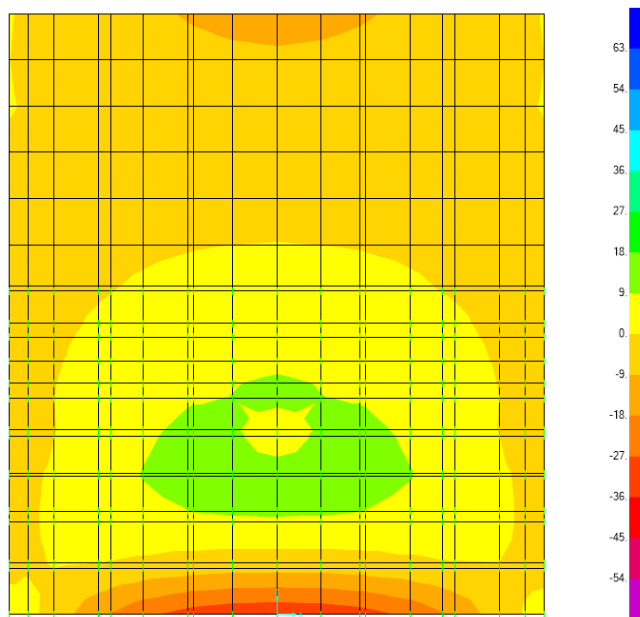
**Figura 11.57 Momento flettente M22 Parete 2**

PROGETTAZIONE ATI:





**Figura 11.58 Momento flettente M22 Parete 3**



**Figura 11.59 Momento flettente M11 Parete 4**

PROGETTAZIONE ATI:

PLATEA

- Momento flettente – Load cases: *SLE-R*

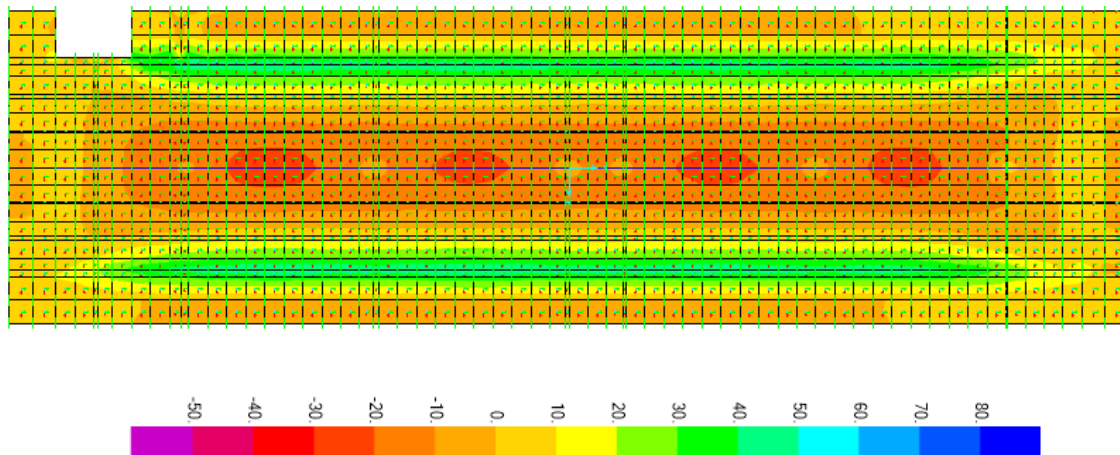


Figura 11.60 Momento flettente M11 Platea

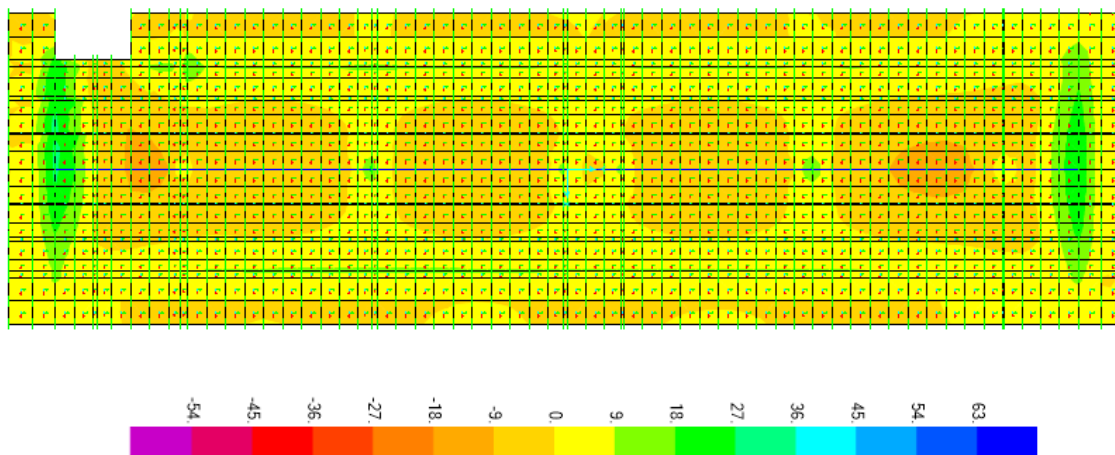
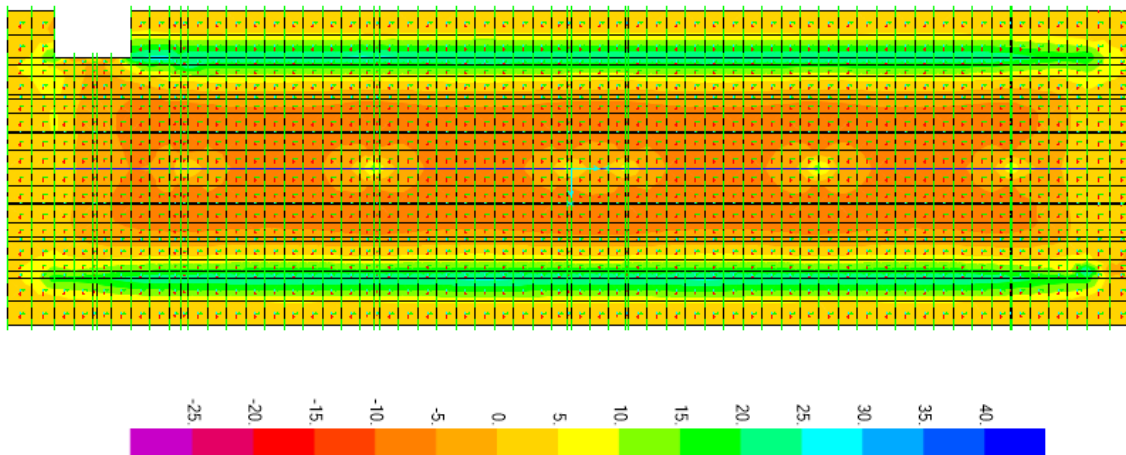


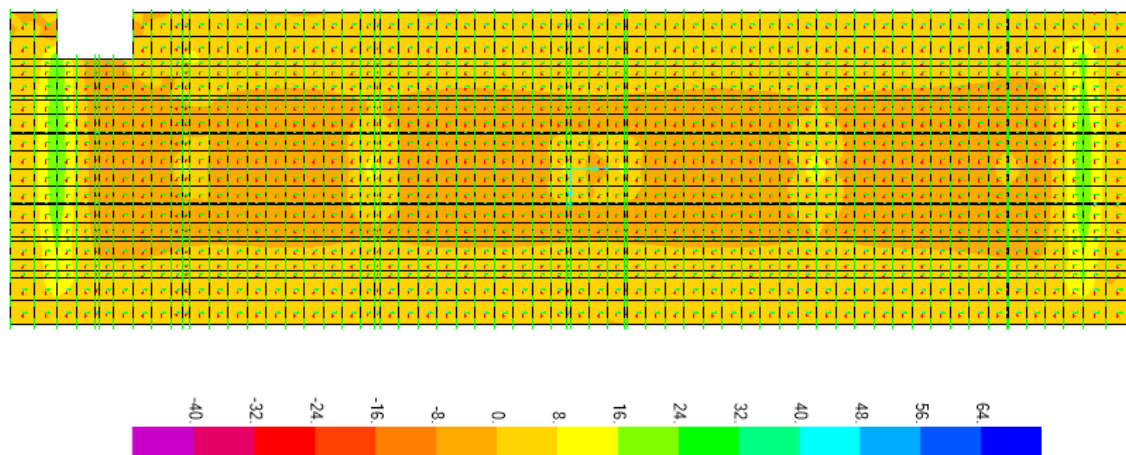
Figura 11.61 Momento flettente M22 Platea

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-R\_no spinte*



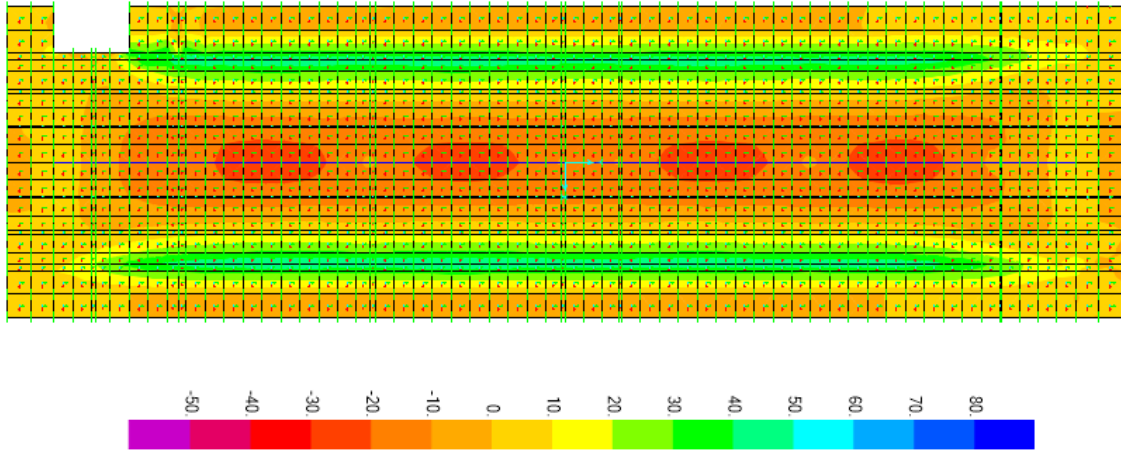
**Figura 11.62 Momento flettente M11 Platea**



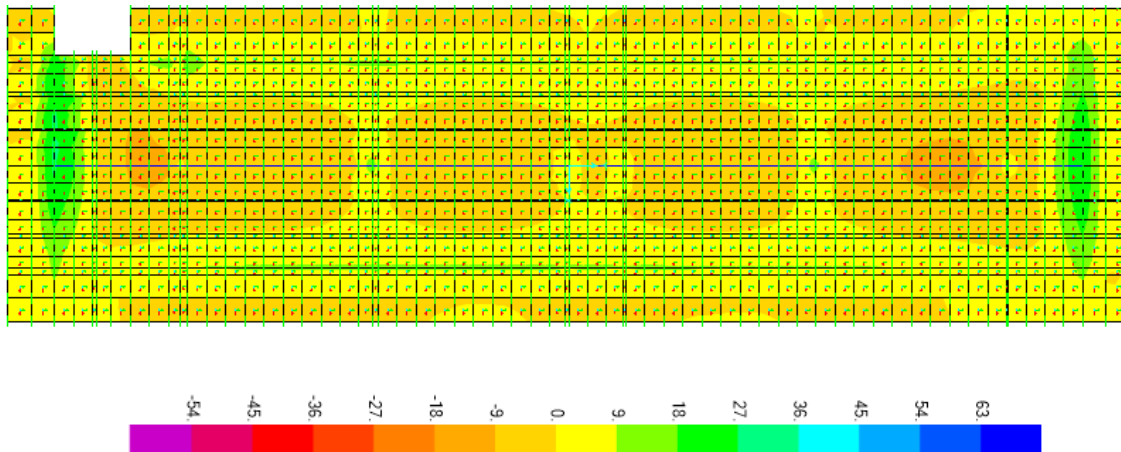
**Figura 11.63 Momento flettente M22 Platea**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-F*



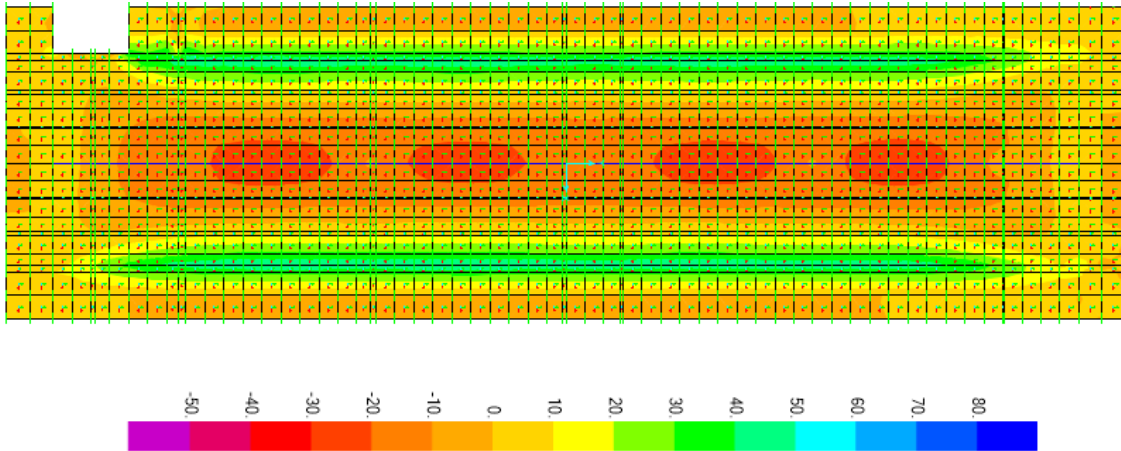
**Figura 11.64 Momento flettente M11 Platea**



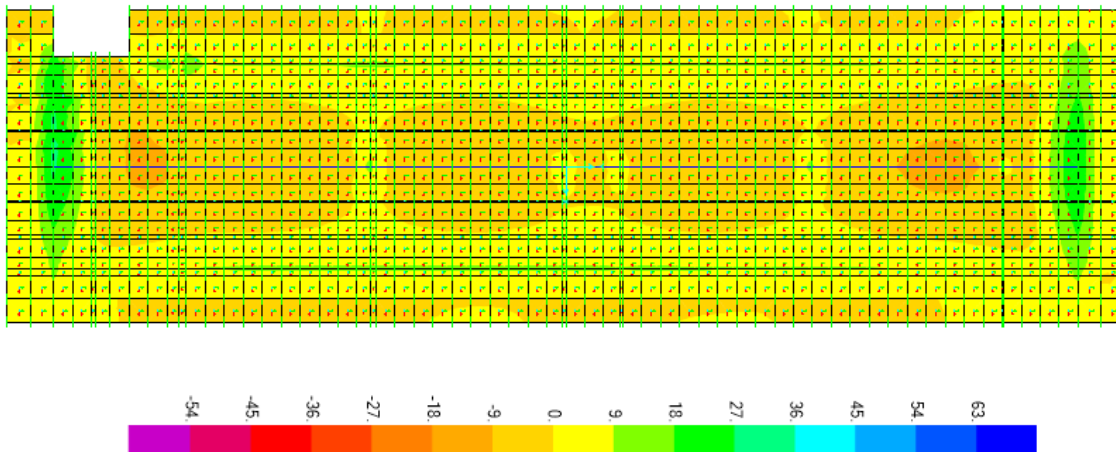
**Figura 11.65 Momento flettente M22 Platea**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-QP*



**Figura 11.66 Momento flettente M11 Platea**



**Figura 11.67 Momento flettente M22 Platea**

PROGETTAZIONE ATI:

COPERTURA

- Momento flettente – Load cases: *SLE-R*

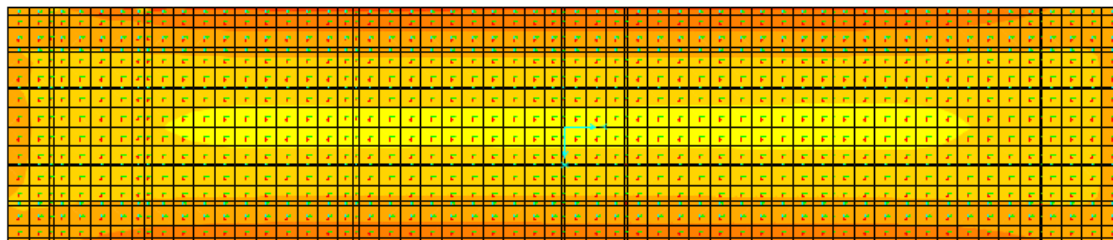


Figura 11.68 Momento flettente M11 Copertura

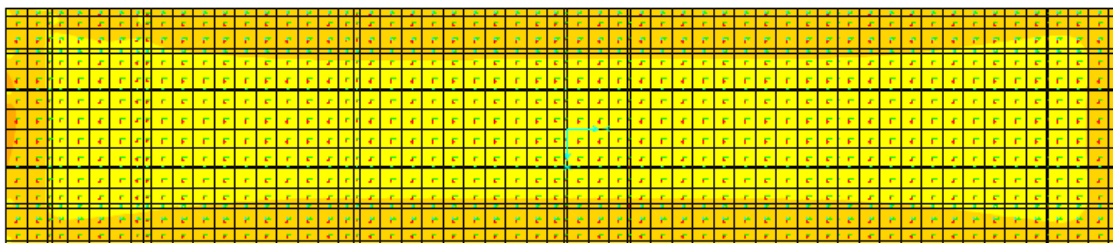
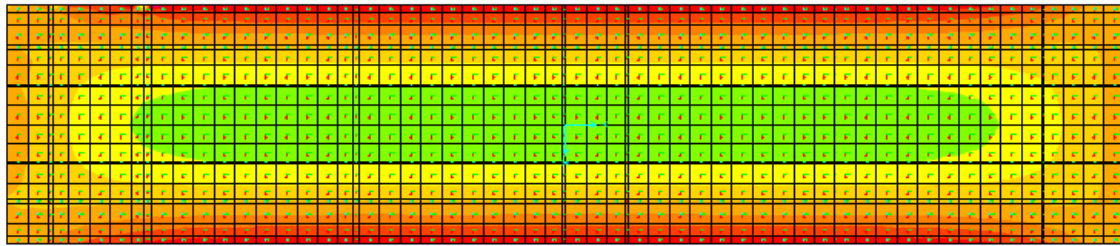


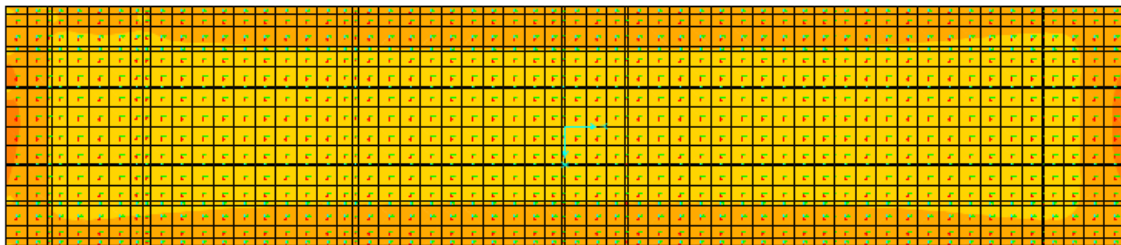
Figura 11.69 Momento flettente M22 Copertura

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-R\_no spinte*



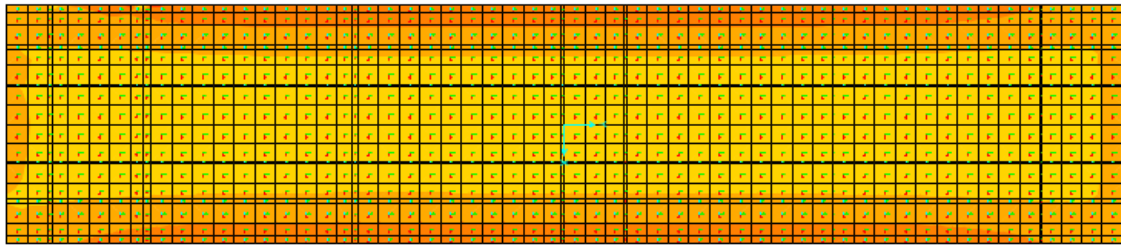
**Figura 11.70 Momento flettente M11 Copertura**



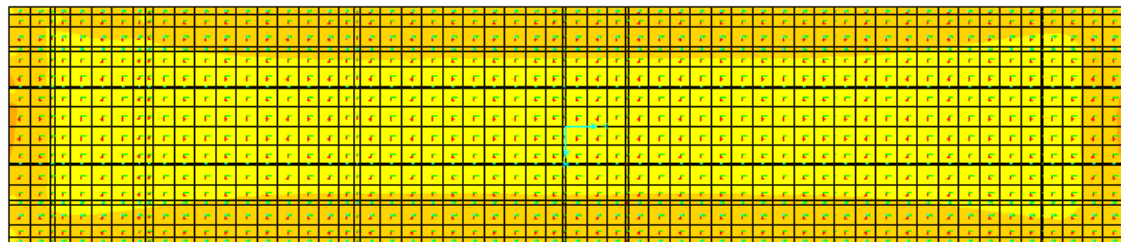
**Figura 11.71 Momento flettente M22 Copertura**

PROGETTAZIONE ATI:

- Momento flettente – Load cases: *SLE-F*



**Figura 11.72 Momento flettente M11 Copertura**

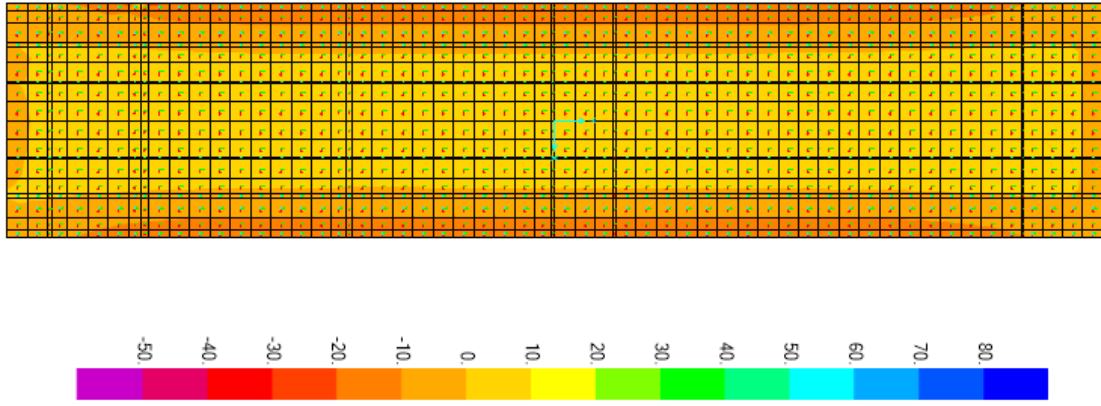


**Figura 11.73 Momento flettente M11 Copertura**

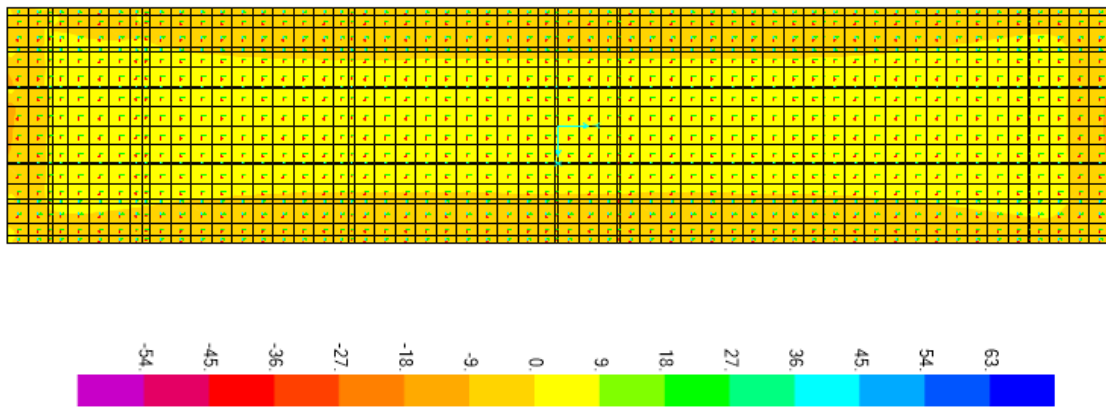
PROGETTAZIONE ATI:



- Momento flettente – Load cases: *SLE-QP*



**Figura 11.74 Momento flettente M11 Copertura**



**Figura 11.75 Momento flettente M11 Copertura**

PROGETTAZIONE ATI:

## **12. VERIFICHE DI RESISTENZA**

### **12.1. VERIFICHE SLU/SLV**

Il momento e il taglio resistente vengono valutati attraverso le formule riportati al capitolo 10.

#### **12.1.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PARETI**

Le verifiche a flessione delle pareti sono svolte considerando il momento agente, dato dai casi di carico precedentemente illustrati, nelle due direzioni  $M_{11}$  e  $M_{22}$ . A vantaggio di sicurezza non è stato considerato il contributo dato dallo sforzo normale agente.

Le pareti sono armate con 3 diverse tipologie di armature:

- $\Phi 16/20$ cm disposti parallelamente l'altezza della parete;
- $\Phi 12/20$ cm disposti parallelamente la lunghezza della parete;
- Legature  $\phi 8/ 40 \times 20$ cm.

##### **12.1.1.1. CASO DI CARICO: SLU\_1**

Le sollecitazioni flettenti  $M_{11}$  e  $M_{22}$  vengono determinate in base alle sezioni significative della parete per ogni caso di carico, in direzione della sollecitazione.

*PARETE 1:*

- Base:  $M_{22} = -70$ kNm;  $M_{11} = -10$ kNm;
- Centro:  $M_{22} = 30$ kNm;  $M_{11} = 5$ kNm;
- Testa:  $M_{22} = -30$ kNm;  $M_{11} = -5$ kNm;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

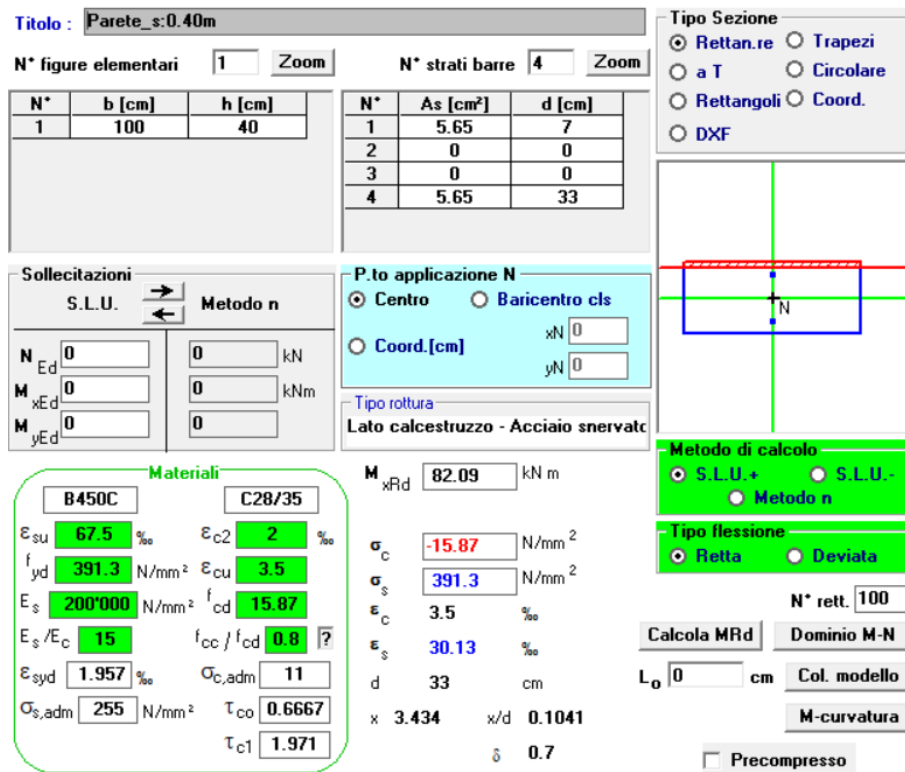


Figura 12.1 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

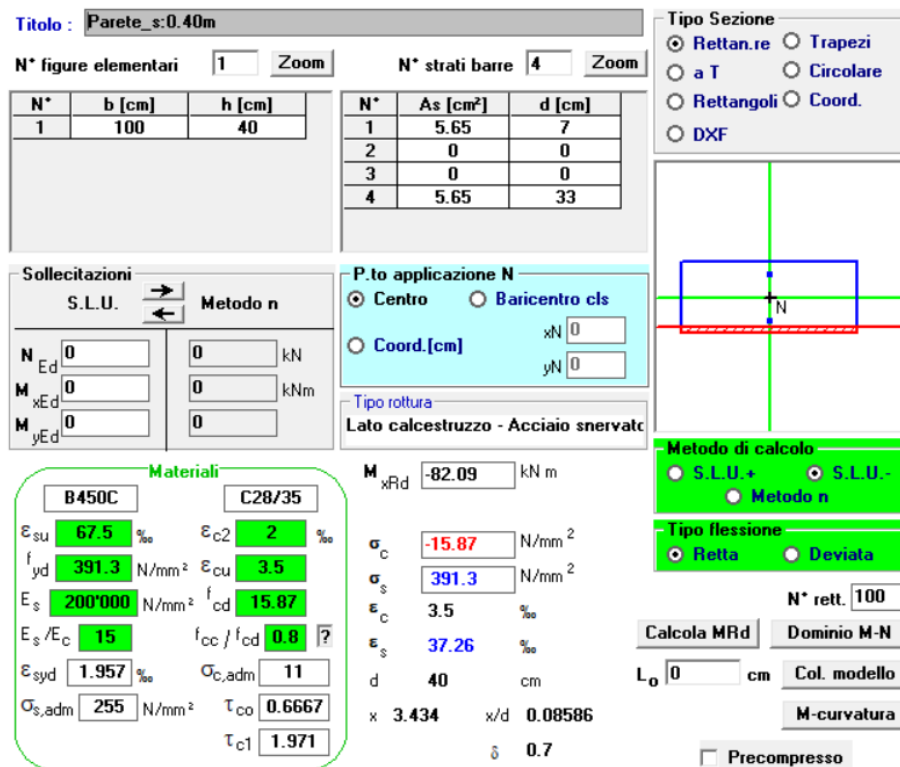


Figura 12.2 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

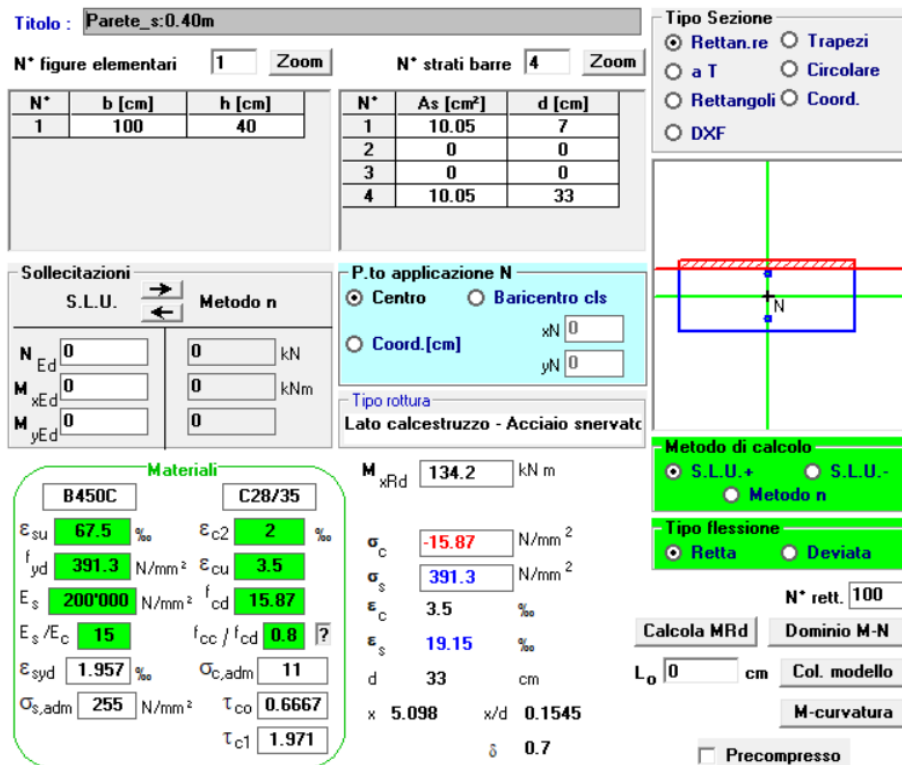


Figura 12.3 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

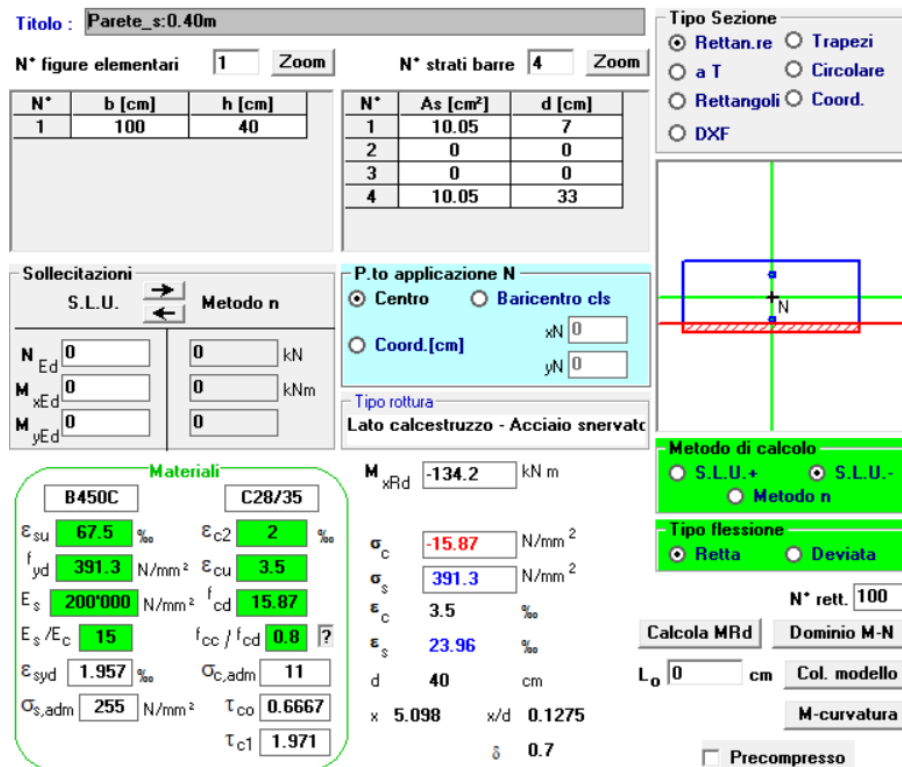


Figura 12.4 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

PARETE 2:

- Base:  $M_{22} = -45\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -10\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 20\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 12\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -20\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -5\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	7
2	0	0
3	0	0
4	5.65	33

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

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

N<sub>Ed</sub> 0      0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0      0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0      0

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C      C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰      ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm²      ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm²      f<sub>cd</sub> 15.87  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15      f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰      σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²      τ<sub>co</sub> 0.6667  
    τ<sub>c1</sub> 1.971

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

**Tipo flessione**  
 Retta    Deviata

M<sub>xRd</sub> 82.09 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 30.13 ‰  
 d 33 cm  
 x 3.434      x/d 0.1041  
                  δ 0.7

N° rett. 100  
 Calcola MRd      Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm      Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.5 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

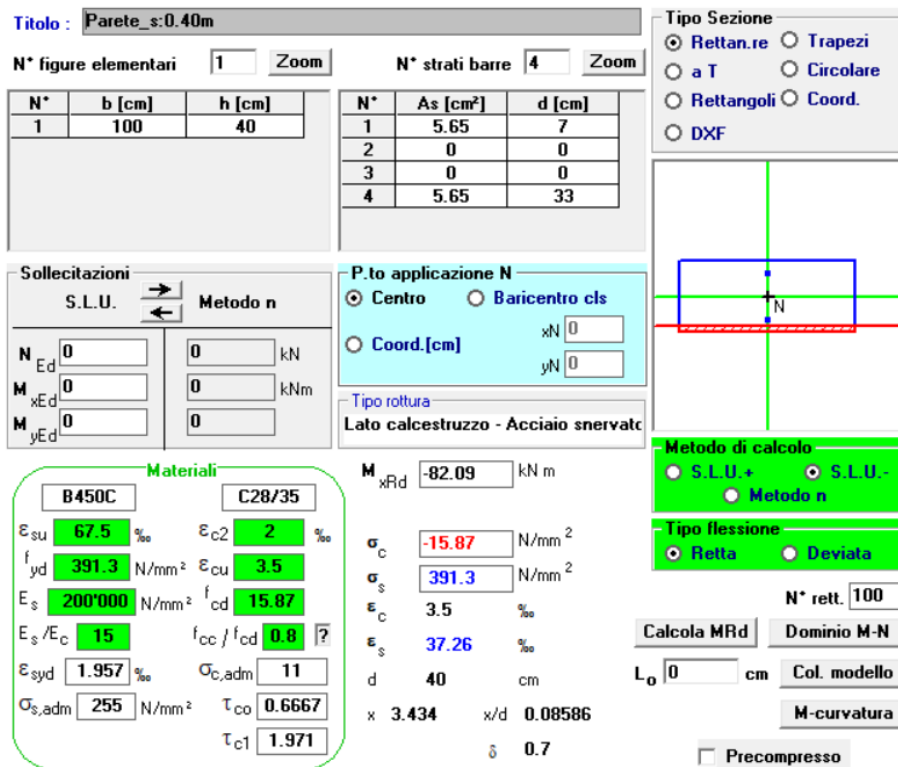


Figura 12.6 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

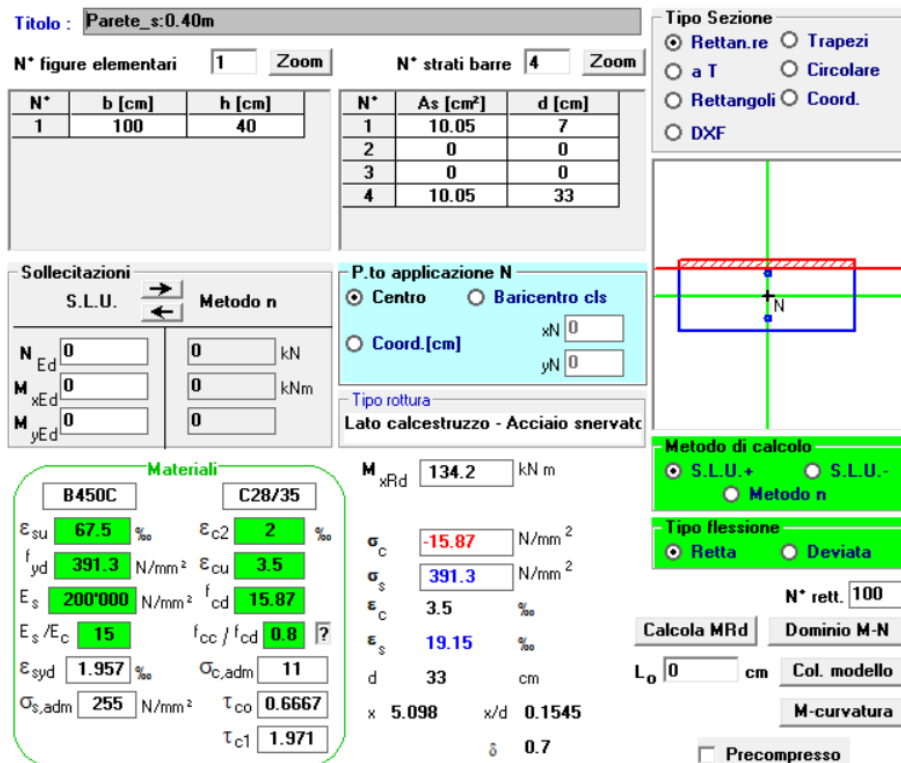


Figura 12.7 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7
2	0	0
3	0	0
4	10.05	33

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. → Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  0 kN  
 M<sub>xEd</sub>  0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

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

**Materiali**  
 B450C C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 15.87 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6667  
 τ<sub>c1</sub> 1.971

**M<sub>xRd</sub>** -134.2 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 23.96 ‰  
 d 40 cm  
 x 5.098 x/d 0.1275  
 δ 0.7

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.8 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta M<sub>Ed</sub> < M<sub>Rd</sub>. Le verifiche sono soddisfatte.

PARETE 3:

- Base: M<sub>22</sub> = -60kNm; M<sub>11</sub> = -15kNm;
- Centro: M<sub>22</sub> = 30kNm; M<sub>11</sub> = 10kNm;
- Testa: M<sub>22</sub> = -28kNm; M<sub>11</sub> = -6kNm;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

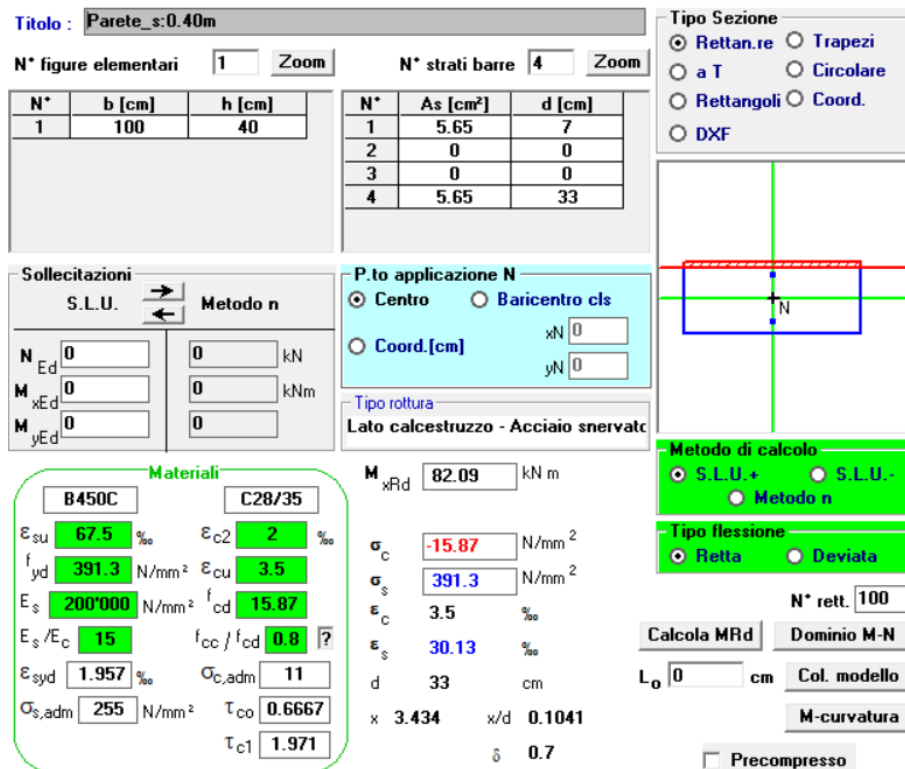


Figura 12.9 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

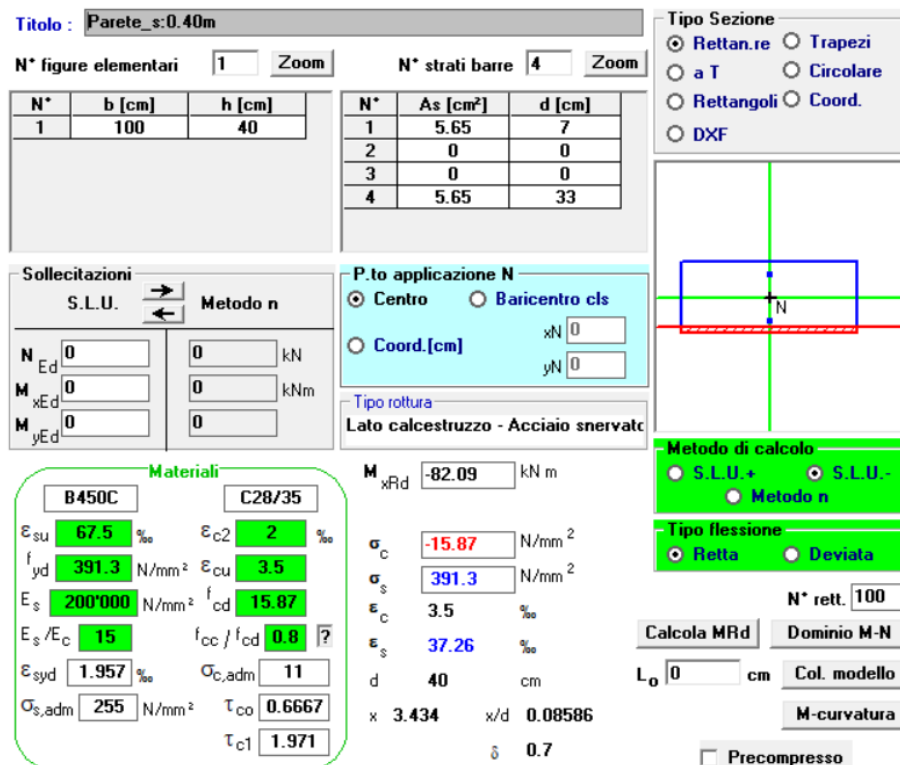


Figura 12.10 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>



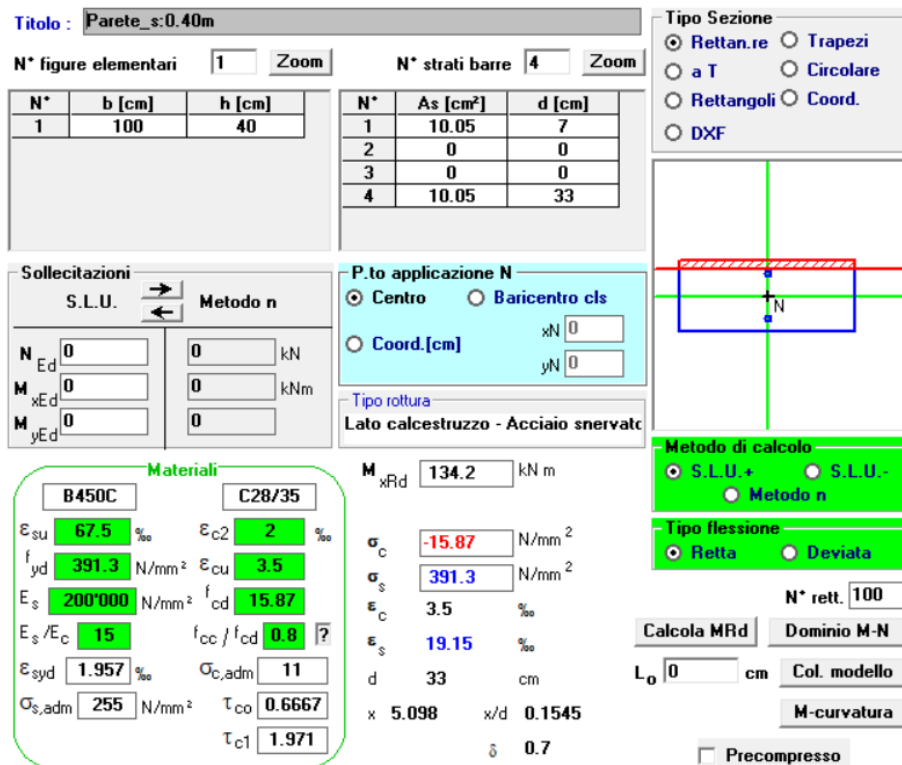


Figura 12.11 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

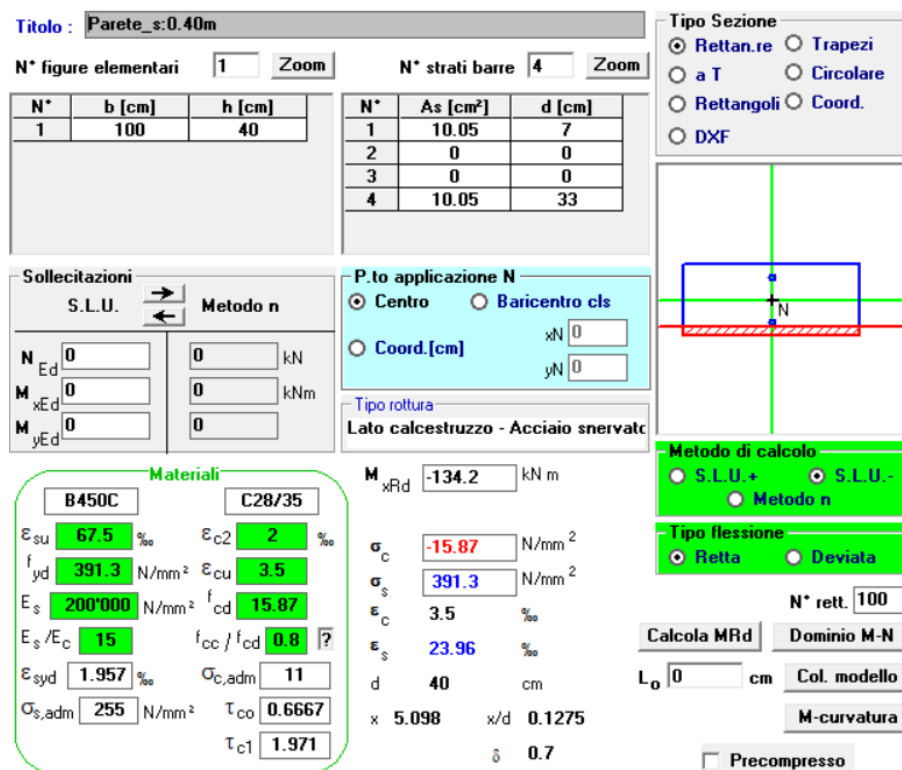


Figura 12.12 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

PARETE 4:

- Base:  $M_{22} = -35\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -25\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 15\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 10\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -18\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -23\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	7
2	0	0
3	0	0
4	5.65	33

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

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

N<sub>Ed</sub> 0      0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0      0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0      0

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C      C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰      ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm²      ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm²      f<sub>cd</sub> 15.87  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15      f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰      σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²      τ<sub>co</sub> 0.6667  
    τ<sub>c1</sub> 1.971

M<sub>xRd</sub> 82.09 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 30.13 ‰  
 d 33 cm  
 x 3.434      x/d 0.1041  
                  δ 0.7

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

**Tipo flessione**  
 Retta    Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd      Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm      Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.13 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

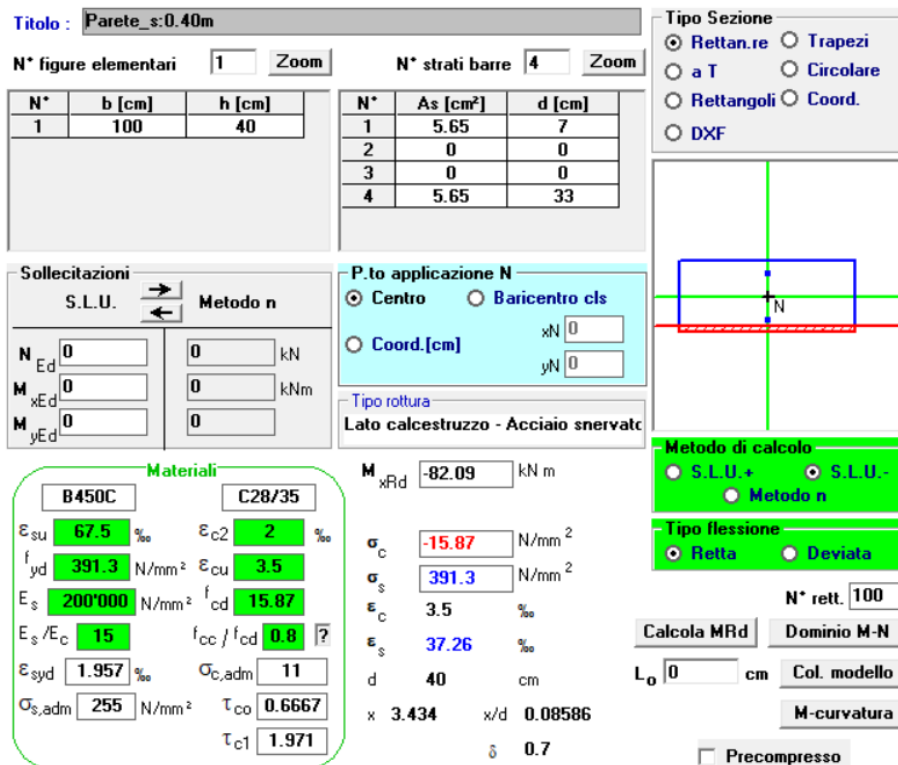


Figura 12.14 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

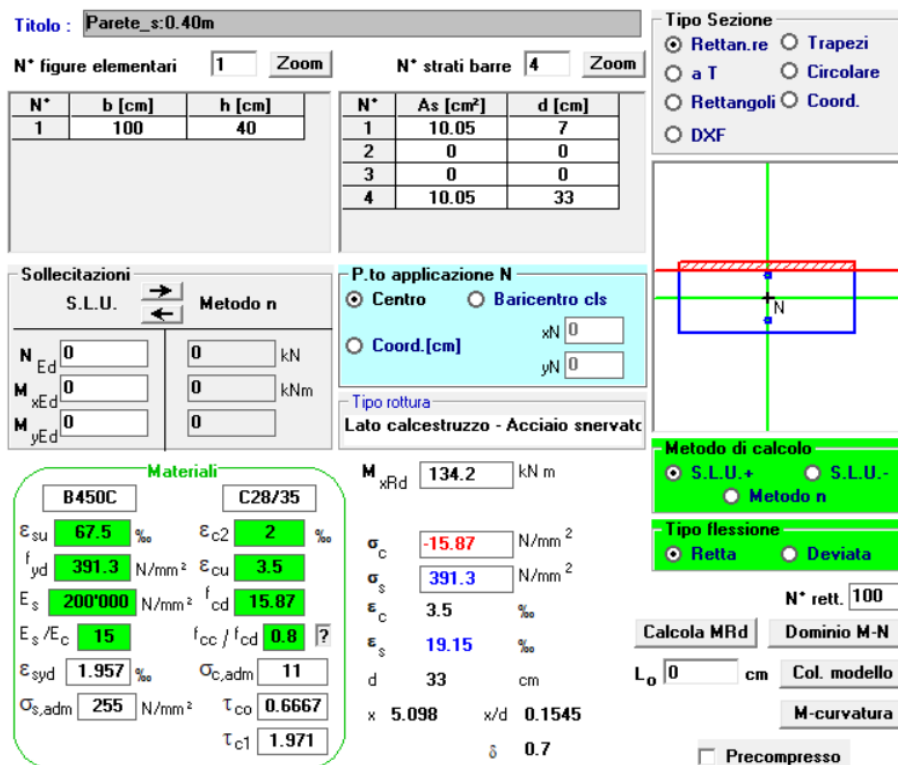


Figura 12.15 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7
2	0	0
3	0	0
4	10.05	33

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

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

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

**Materiali:**  
 B450C C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 15.87 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6667  
 τ<sub>c1</sub> 1.971

**M<sub>xRd</sub>** -134.2 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 23.96 ‰  
 d 40 cm  
 x 5.098 x/d 0.1275  
 δ 0.7

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.16 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta M<sub>Ed</sub> < M<sub>Rd</sub>. Le verifiche sono soddisfatte.

### 12.1.1.2. CASO DI CARICO: SLU\_no spinte

Le sollecitazioni flettenti M<sub>11</sub> e M<sub>22</sub> vengono determinate come precedentemente illustrato.

PARETE 1:

- Base: M<sub>22</sub> = -1kNm; M<sub>11</sub> = 8kNm;
- Centro: M<sub>22</sub> = 3kNm; M<sub>11</sub> = -4kNm;
- Testa: M<sub>22</sub> = -28kNm; M<sub>11</sub> = 9kNm;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

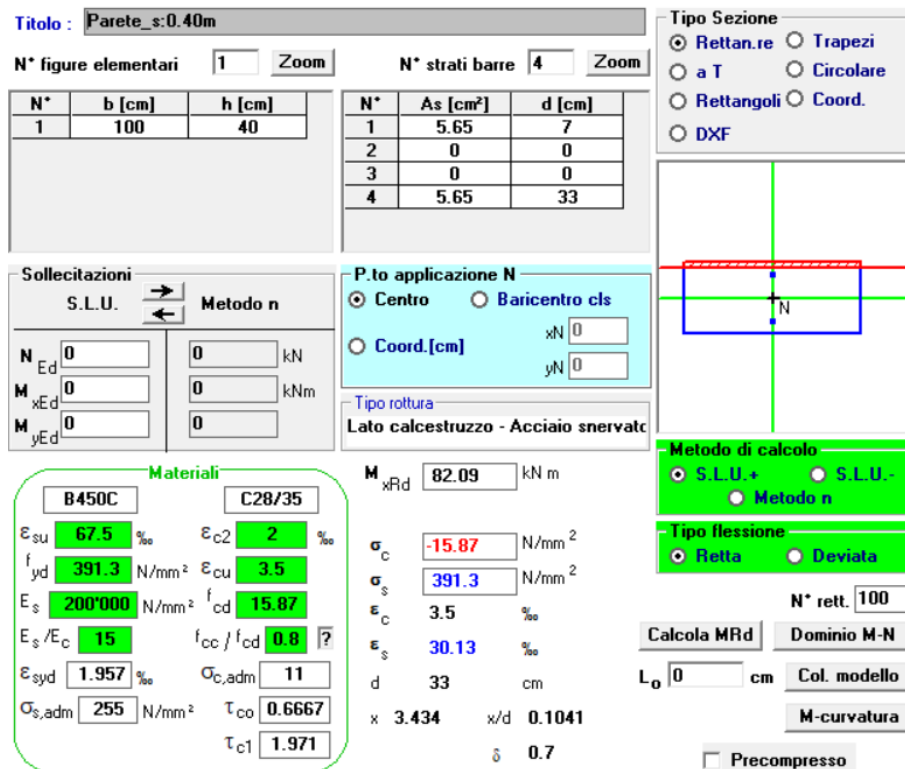


Figura 12.17 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

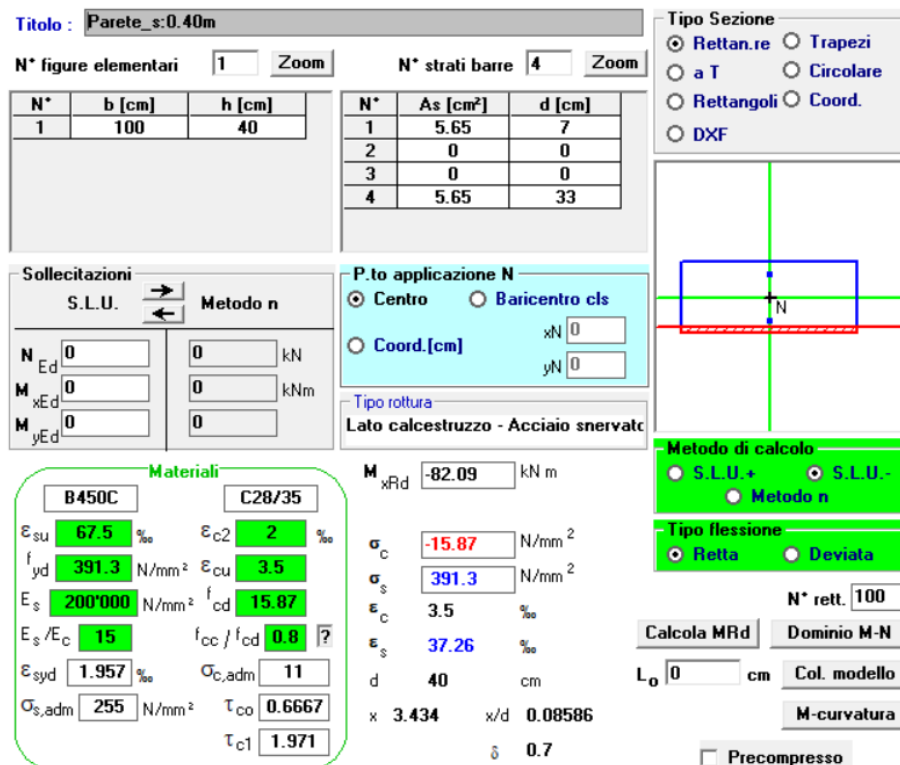


Figura 12.18 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

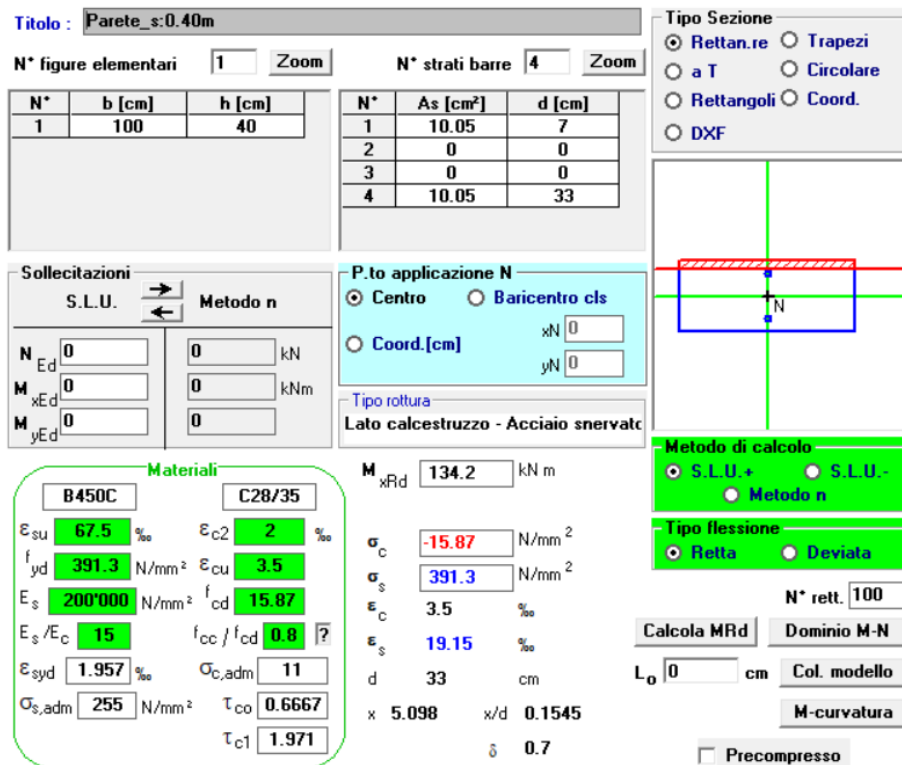


Figura 12.19 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

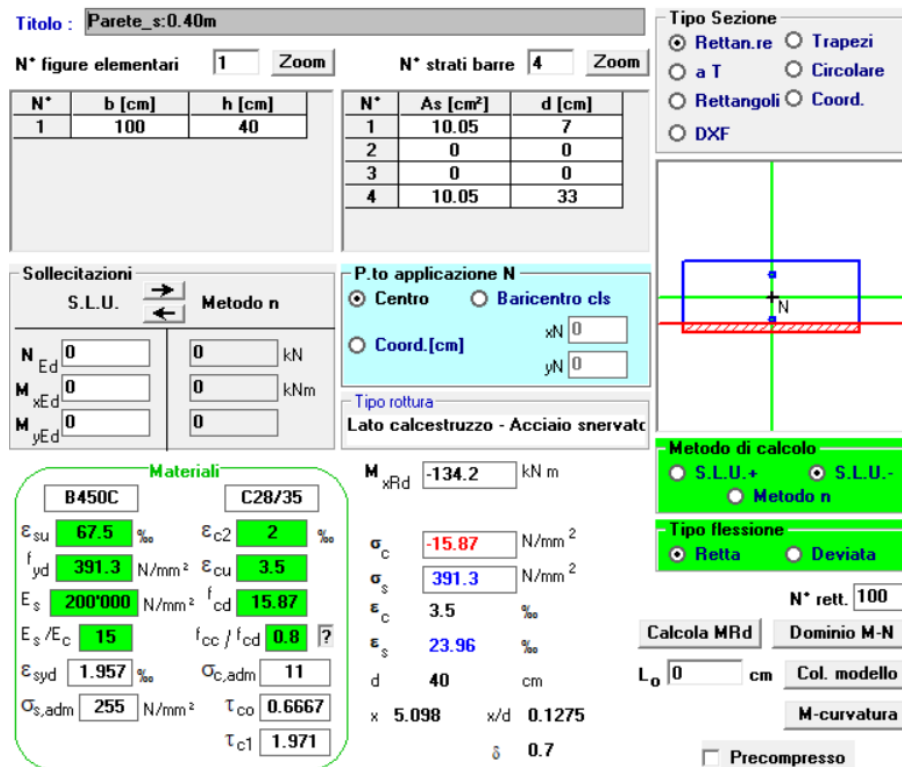


Figura 12.20 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

**PARETE 2:**

- Base:  $M_{22} = -3\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 8\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 1\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -4\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -20\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 7\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	7
2	0	0
3	0	0
4	5.65	33

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

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U.    Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0    0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0    0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0    0

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

**Tipo rottura:**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali:**  
**B450C**    **C28/35**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²     $f_{cd}$  15.07  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰     $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0.6667  
                                   $\tau_{c1}$  1.971

**M<sub>xRd</sub>** 82.09 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  30.13 ‰  
 d 33 cm  
 x 3.434    x/d 0.1041  
 $\delta$  0.7

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

**Tipo flessione:**  
 Retta     Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd    Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.21 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

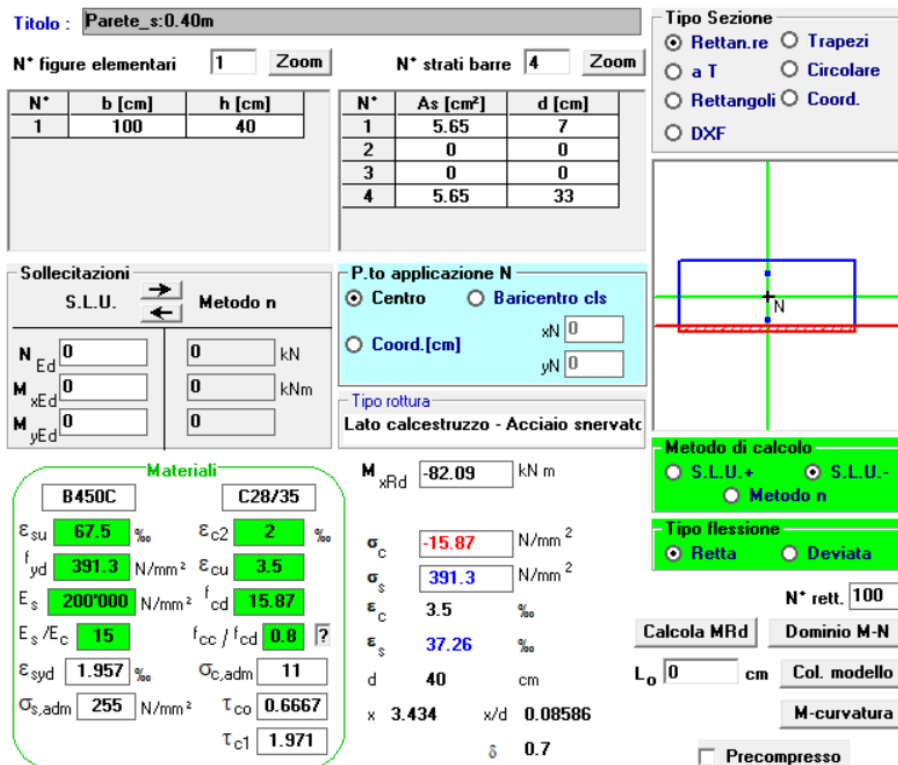


Figura 12.22 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

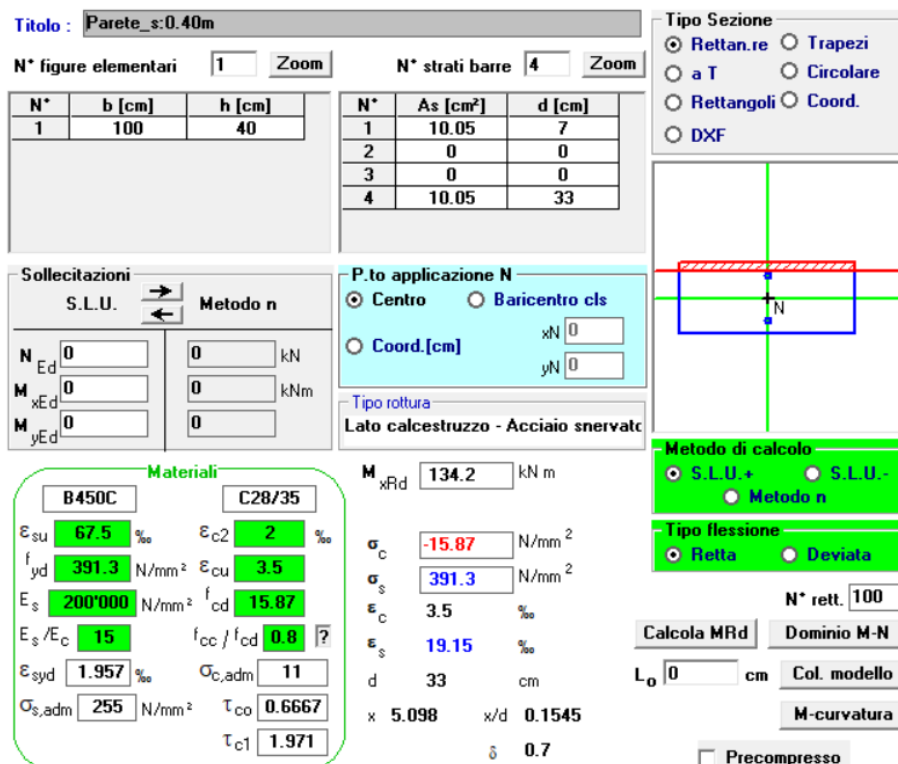


Figura 12.23 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>



**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7
2	0	0
3	0	0
4	10.05	33

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

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

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

**Materiali**  
 B450C    C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²     $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰     $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0.6667  
     $\tau_{c1}$  1.971

**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**  
 $M_{xRd}$  -134.2 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  23.96 ‰  
 d 40 cm  
 x 5.098    x/d 0.1275  
     $\delta$  0.7

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

**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd    Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.24 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

PARETE 3:

- Base:  $M_{22} = -0.5\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 7\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 10\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -3\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -27\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 7\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

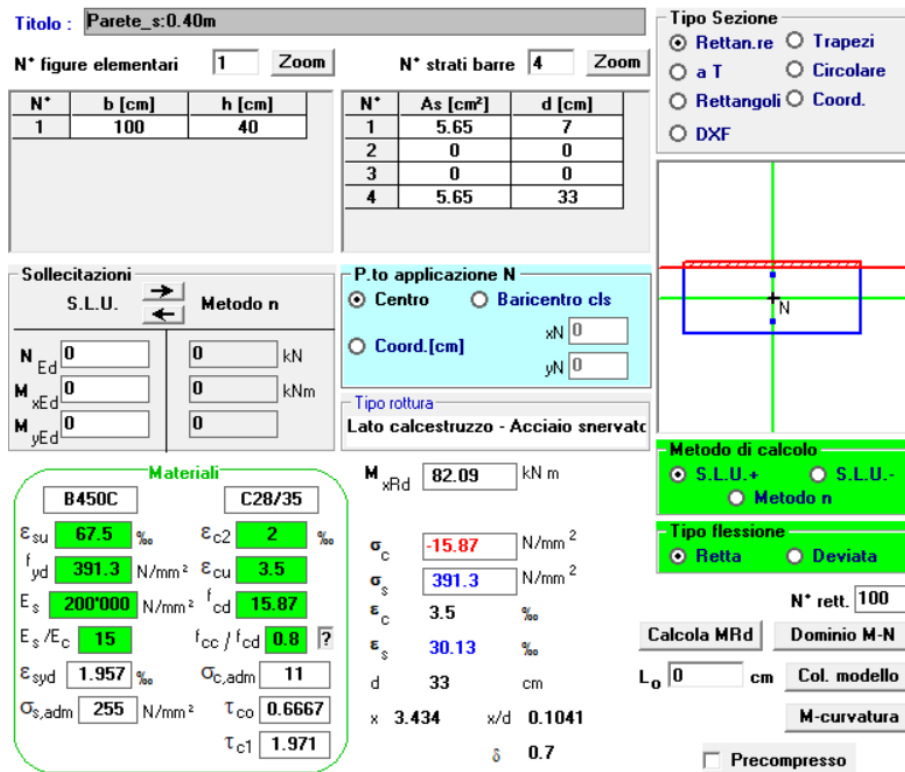


Figura 12.25 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

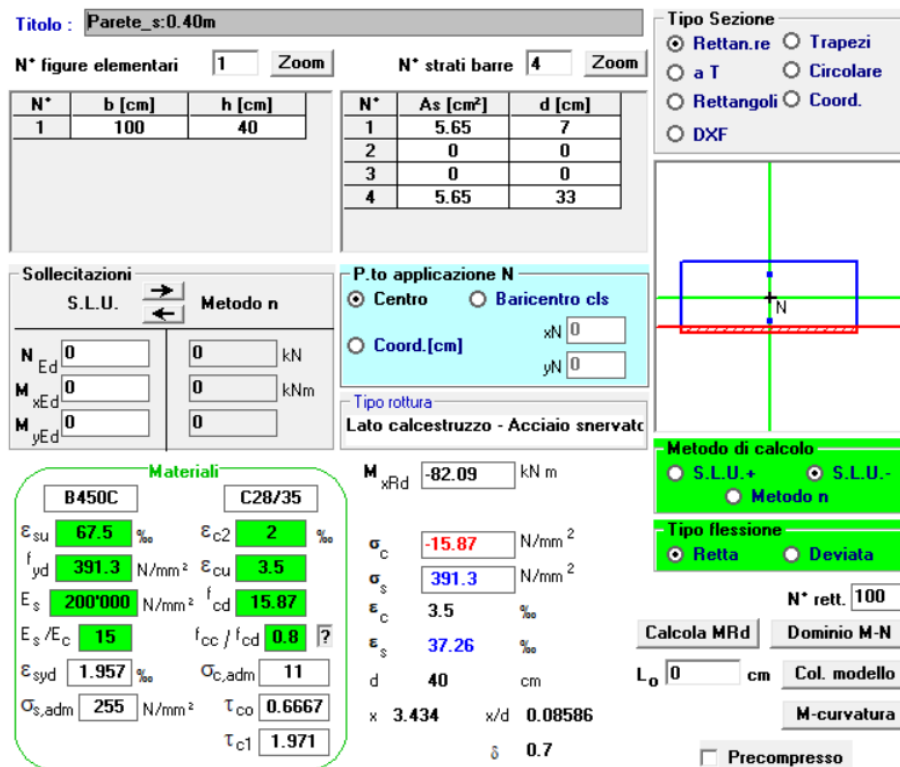


Figura 12.26 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

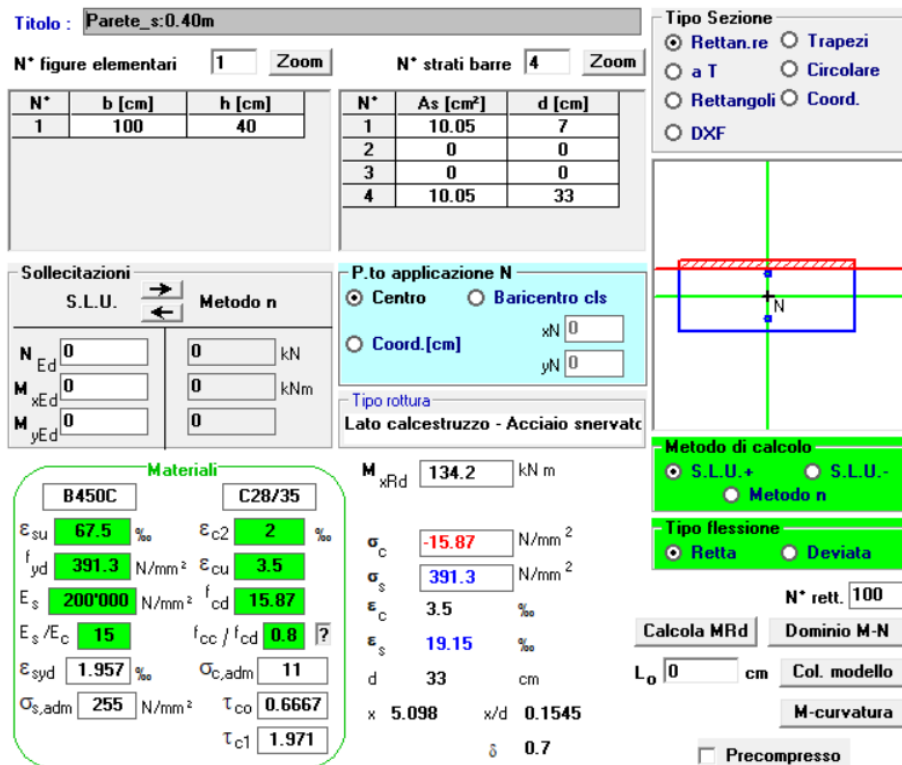


Figura 12.27 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

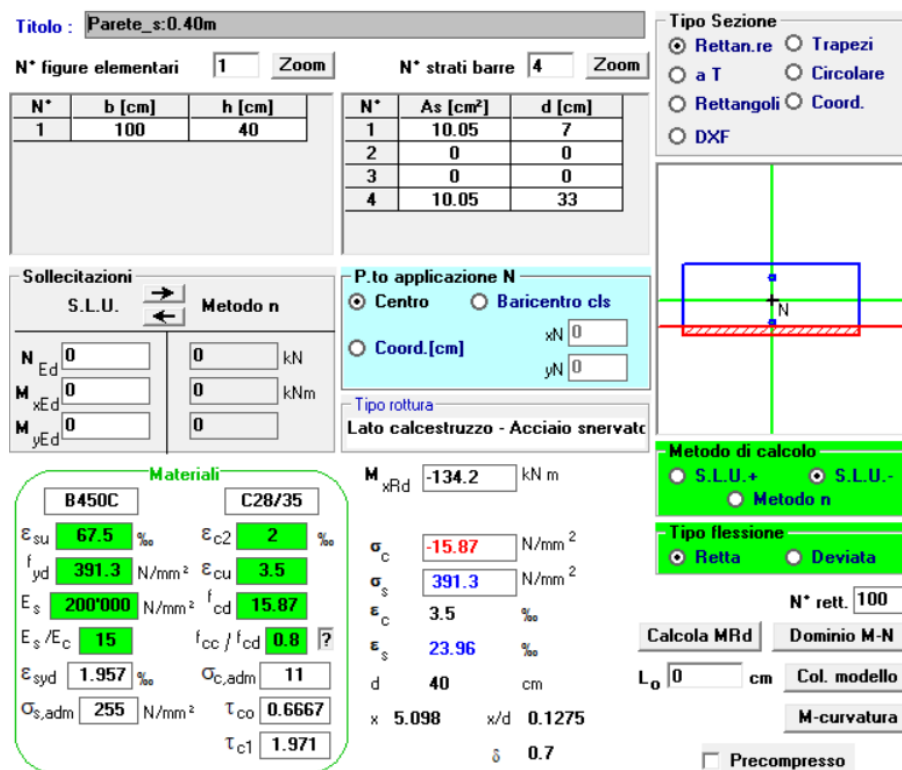


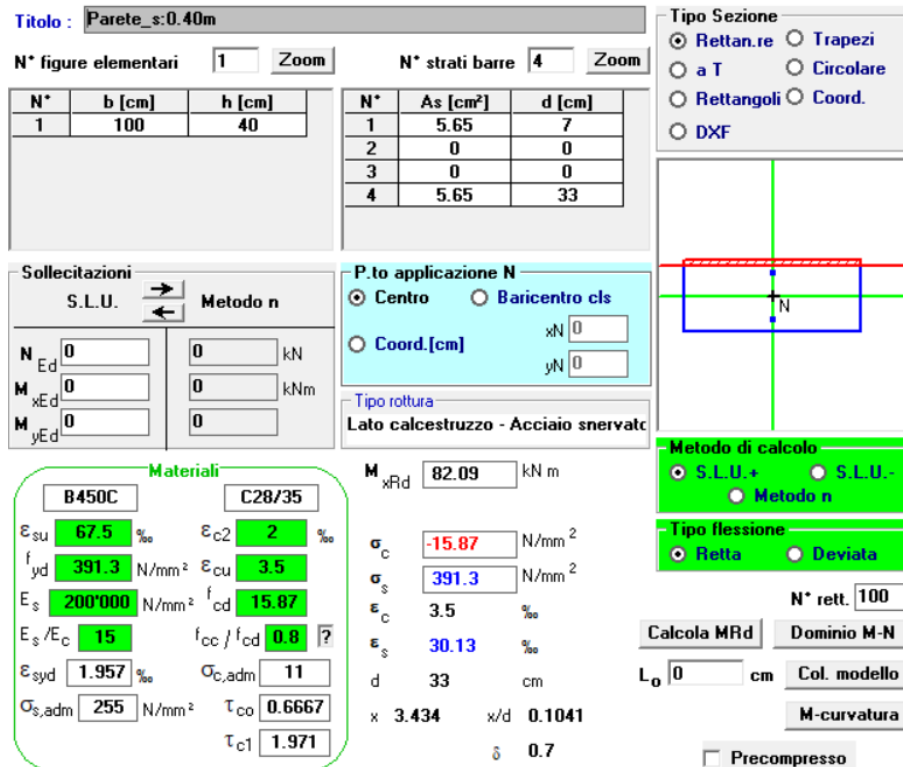
Figura 12.28 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

**PARETE 4:**

- Base:  $M_{22} = 4\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 9\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 2\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -5\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -18\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 8\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:



**Titolo:** Parete\_s:0.40m

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	7
2	0	0
3	0	0
4	5.65	33

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

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

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

**Materiali:**  
**B450C** **C28/35**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

**Tipologia rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

**Calcoli:**  
 $M_{xRd}$  82.09 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  30.13 ‰  
d 33 cm  
x 3.434 x/d 0.1041  
 $\delta$  0.7

**Parametri:**  
N° rett. 100  
L<sub>0</sub> 0 cm  
Col. modello  
M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.29 Momento resistente positivo per sollecitazione  $M_{11}$

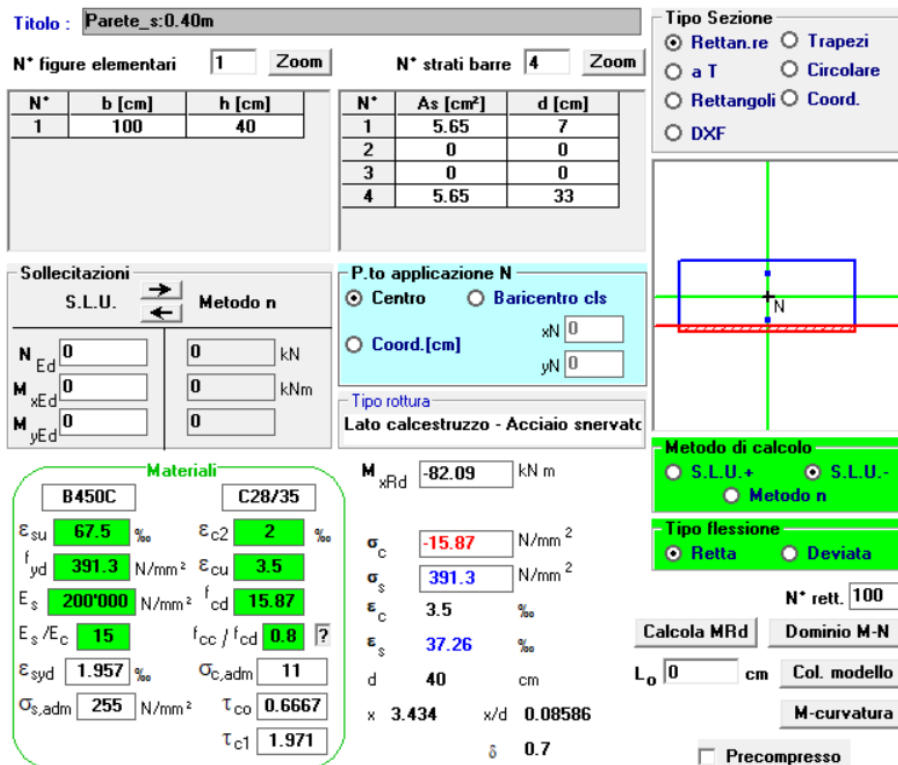


Figura 12.30 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

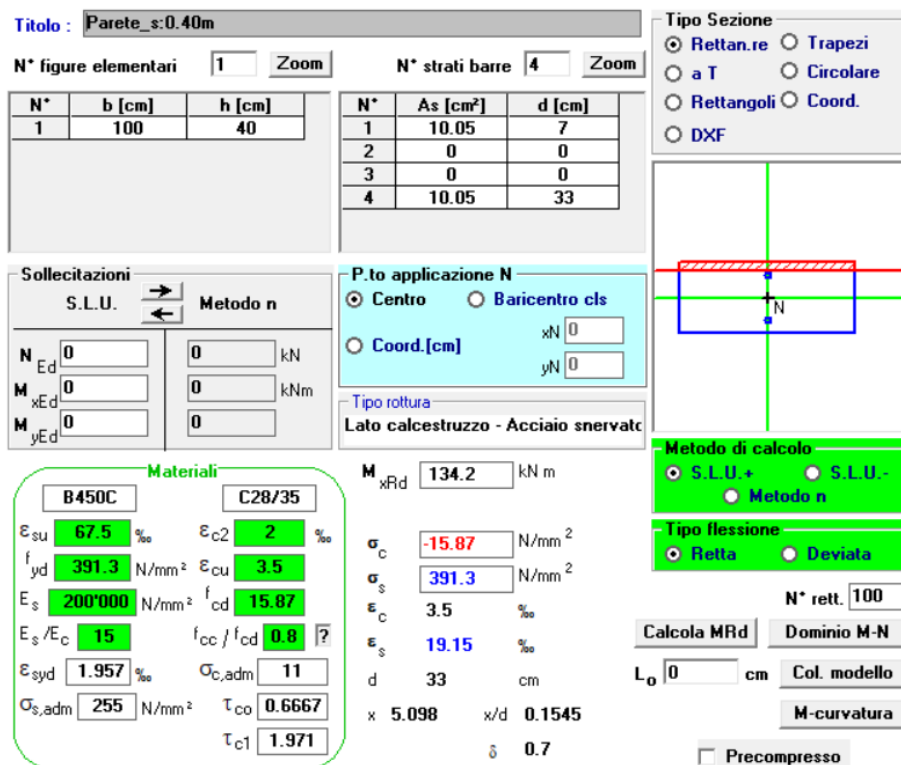


Figura 12.31 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

PROGETTAZIONE ATI:

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7
2	0	0
3	0	0
4	10.05	33

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. → Metodo n  
 kN  
 kNm  
 kNm

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

**Materiali**  
 B450C   C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰    $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²    $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²    $f_{cd}$  15.87 ‰  
 $E_s/E_c$  15    $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰    $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²    $\tau_{co}$  0.6667  
     $\tau_{c1}$  1.971

**M**  $M_{xRd}$  -134.2 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  23.96 ‰  
 d 40 cm  
 x 5.098   x/d 0.1275  
     $\delta$  0.7

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

**Tipo flessione**  
 Retta    Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd   Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm   Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.32 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

### 12.1.1.3. CASO DI CARICO: Ex+

Le sollecitazioni flettenti  $M_{11}$  e  $M_{22}$  vengono determinate come precedentemente illustrato.

PARETE 1:

- Base:  $M_{22} = -120\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -50\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 50\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 10\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -25\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -30\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

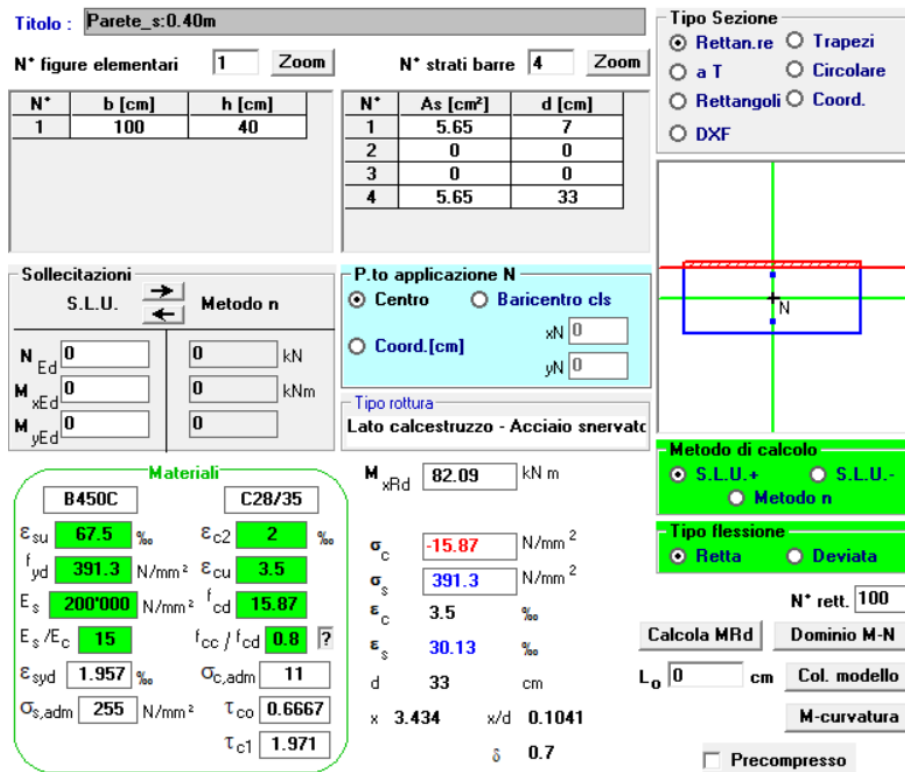


Figura 12.33 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

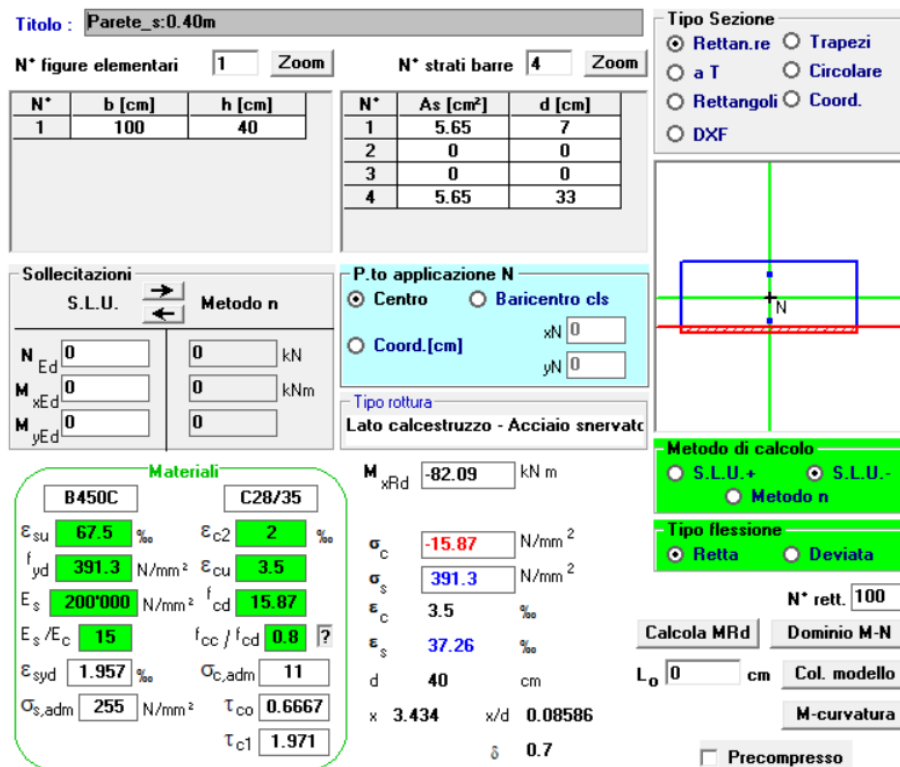


Figura 12.34 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

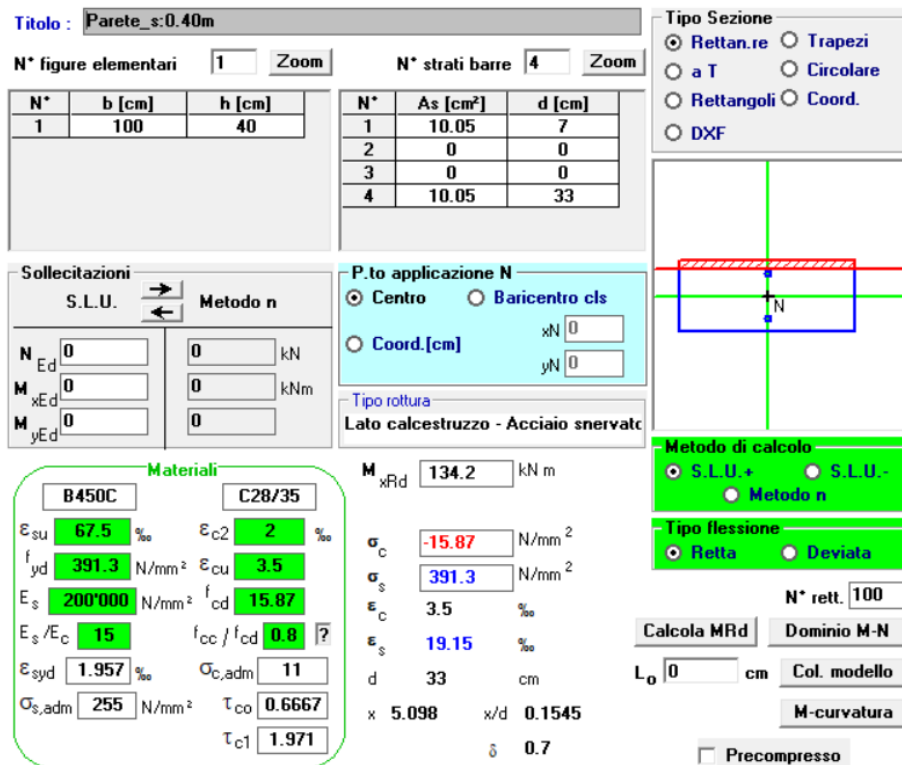


Figura 12.35 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

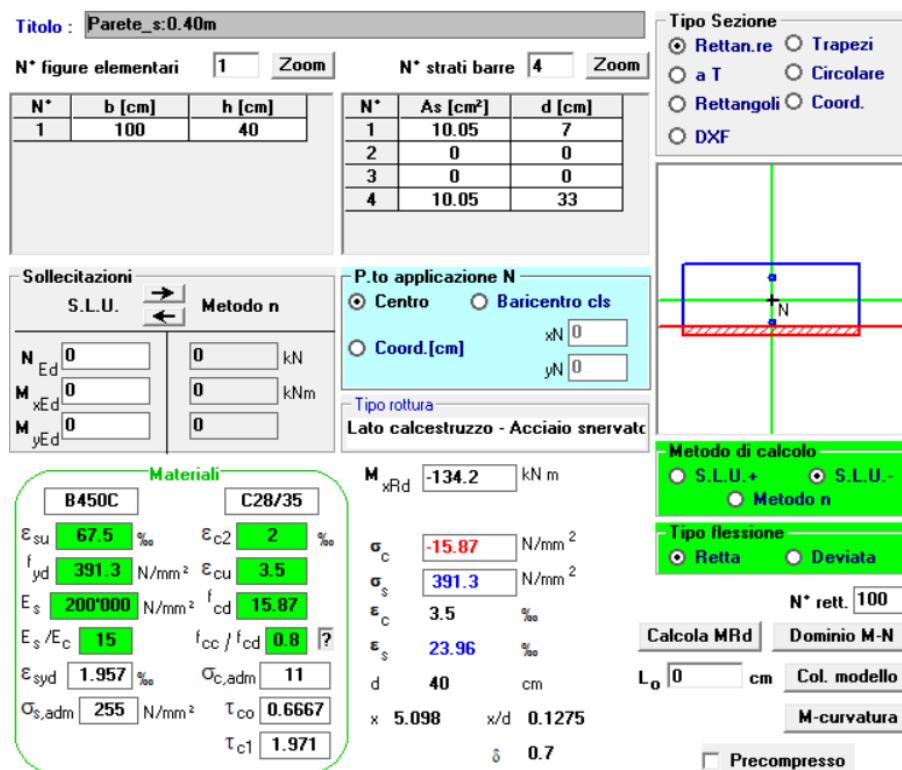


Figura 12.36 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:



PARETE 2:

- Base:  $M_{22} = -45\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 60\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 20\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 13\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -12\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -40\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	7
2	0	0
3	0	0
4	5.65	33

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

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U.    Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0

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

**Tipologia rottura:**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali:**  
 B450C   C28/35  
 $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰    $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²    $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm²    $f_{cd}$ : 15.07  
 $E_s/E_c$ : 15    $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰    $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²    $\tau_{co}$ : 0.6667  
     $\tau_{c1}$ : 1.971

**Calcoli:**  
 $M_{xRd}$ : 82.09 kN m  
 $\sigma_c$ : -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 30.13 ‰  
 d: 33 cm  
 x: 3.434   x/d: 0.1041  
 $\delta$ : 0.7

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta    Deviata

N° rett.: 100  
 Calcola MRd   Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm   Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.37 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

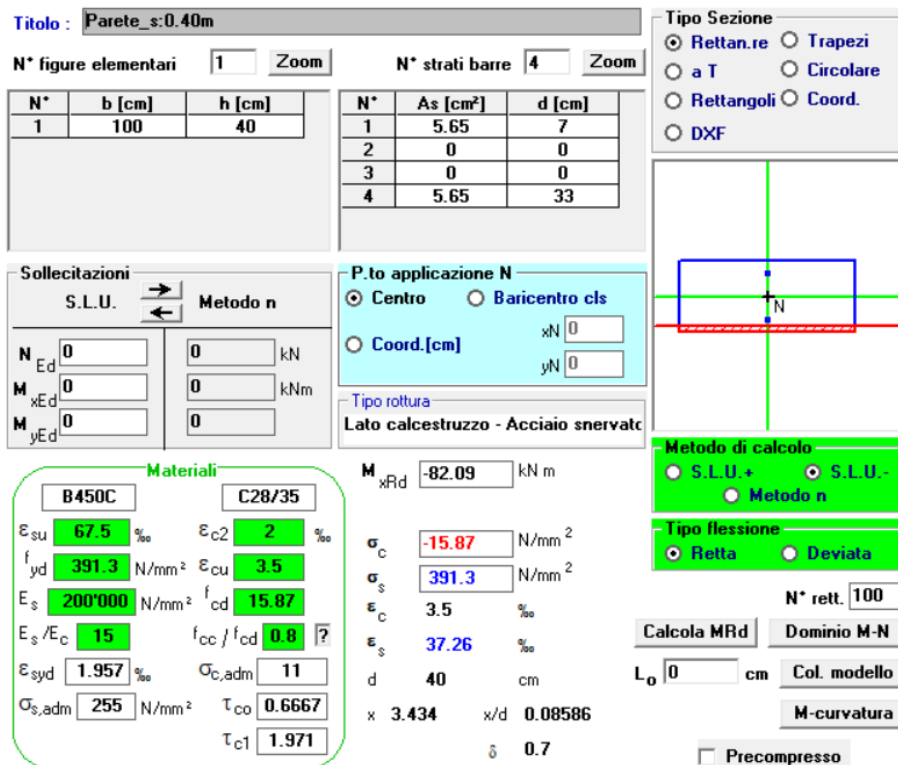


Figura 12.38 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

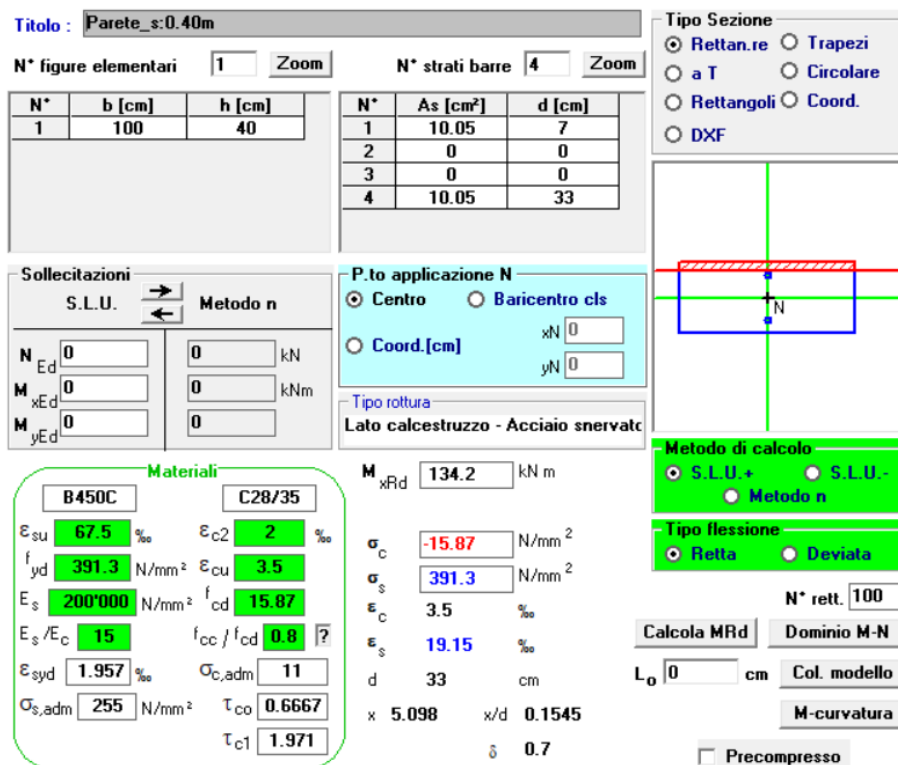


Figura 12.39 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7
2	0	0
3	0	0
4	10.05	33

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.    Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0    0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0    0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0    0

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C    C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰    ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm²    ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm²    f<sub>cd</sub> 15.87  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰    σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0.6667  
    τ<sub>c1</sub> 1.971

**M<sub>xRd</sub>** -134.2 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 23.96 ‰  
 d 40 cm  
 x 5.098    x/d 0.1275  
                  δ 0.7

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

**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd    Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.40 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta M<sub>Ed</sub> < M<sub>Rd</sub>. Le verifiche sono soddisfatte.

PARETE 3:

- Base: M<sub>22</sub> = -45kNm; M<sub>11</sub> = -35kNm;
- Centro: M<sub>22</sub> = 30kNm; M<sub>11</sub> = 7kNm;
- Testa: M<sub>22</sub> = 24kNm; M<sub>11</sub> = -22kNm;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

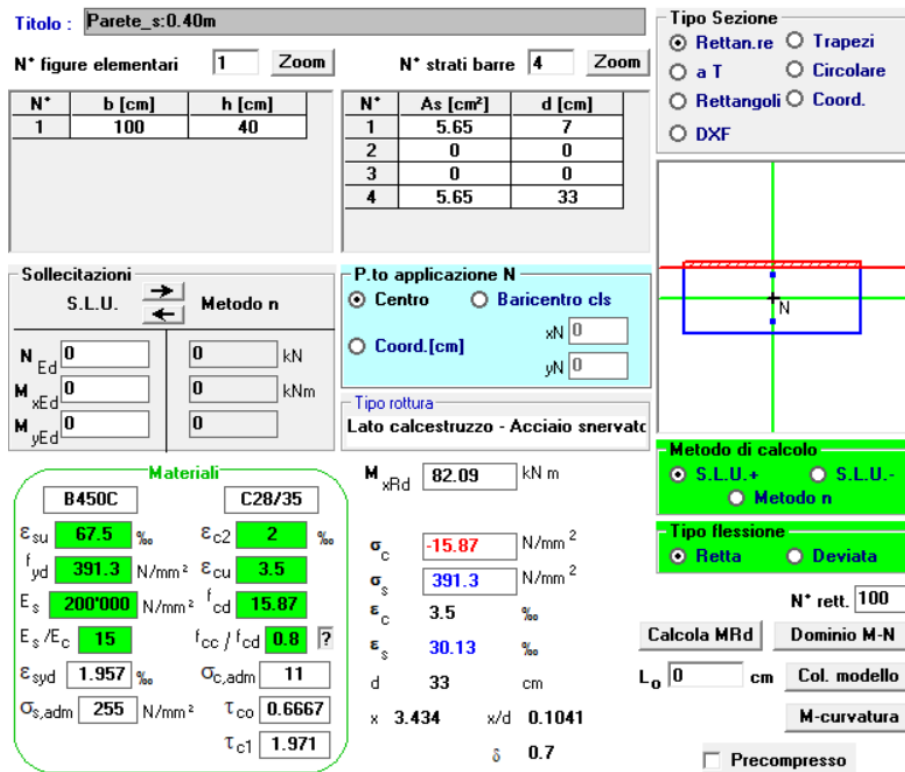


Figura 12.41 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

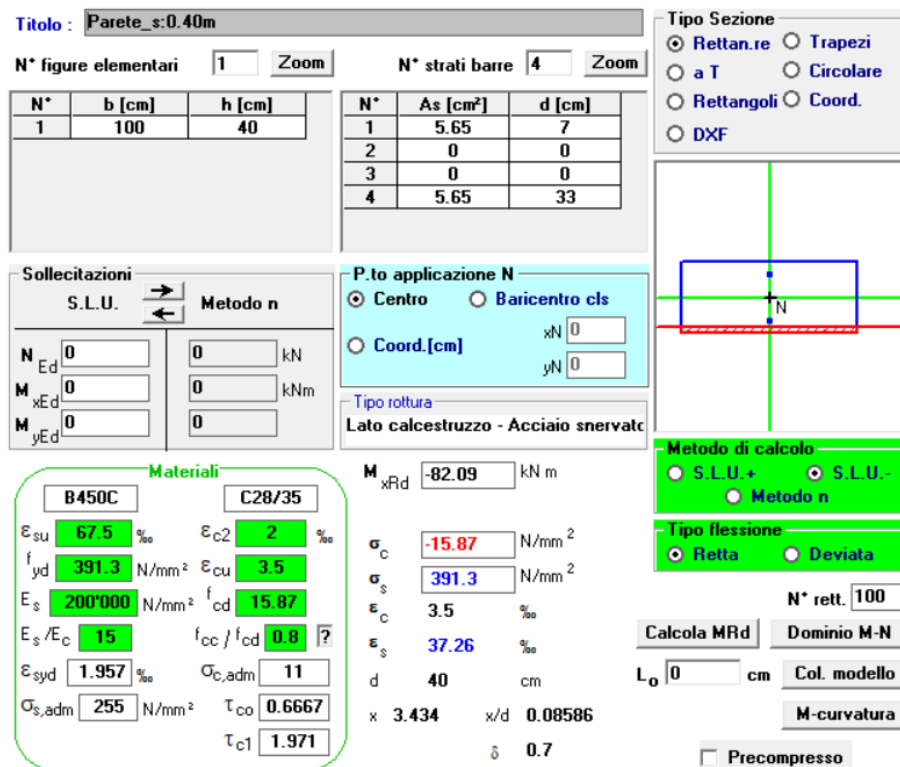


Figura 12.42 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

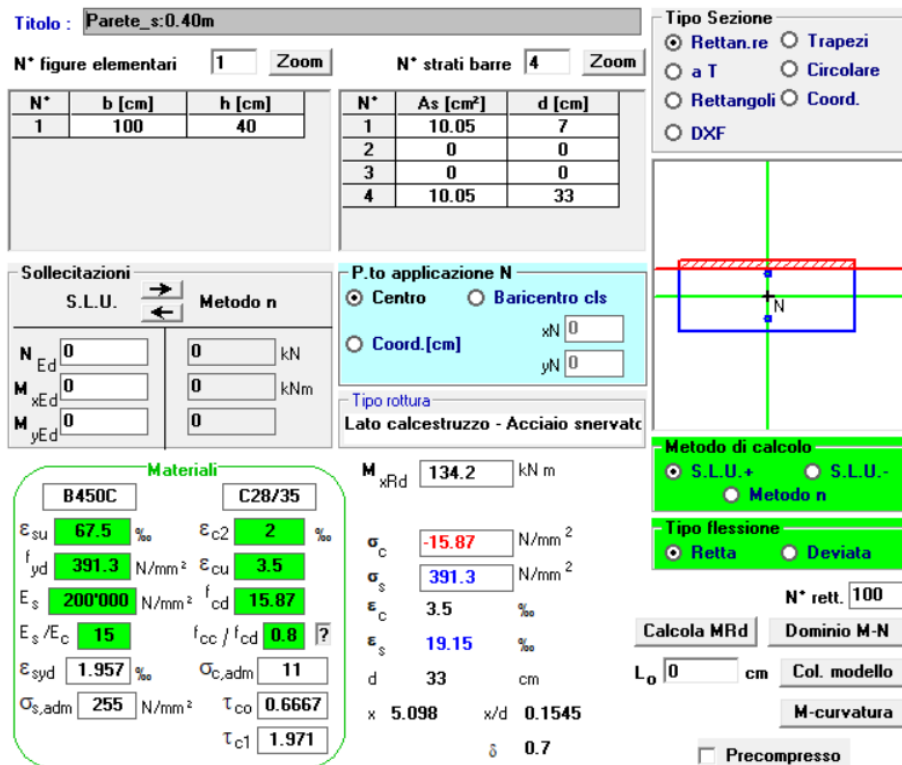


Figura 12.43 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

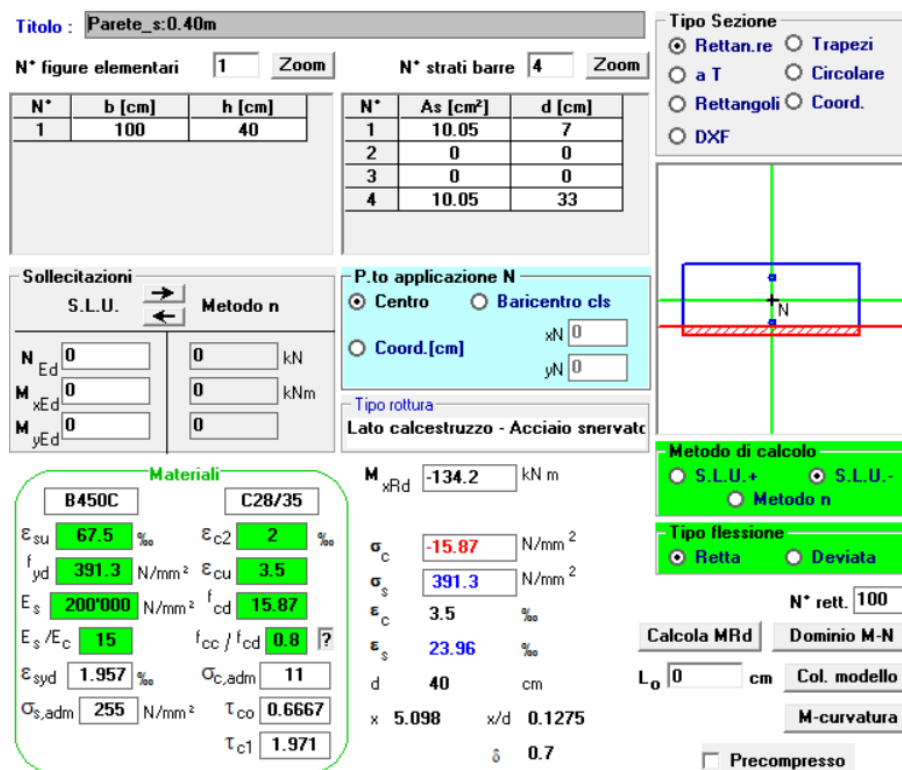


Figura 12.44 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

**PARETE 4:**

- Base:  $M_{22} = -33\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -33\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 15\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 10\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = -12\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -35\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

**Titolo:** Parete\_s:0.40m

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	7
2	0	0
3	0	0
4	5.65	33

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

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

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

**Materiali:**  
**B450C** **C28/35**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

**Tipologia rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

**Calcoli:**  
 $M_{xRd}$  82.09 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  30.13 ‰  
d 33 cm  
x 3.434 x/d 0.1041  
 $\delta$  0.7

**Parametri:**  
N° rett. 100  
L<sub>0</sub> 0 cm  
Col. modello  
M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.45 Momento resistente positivo per sollecitazione  $M_{11}$

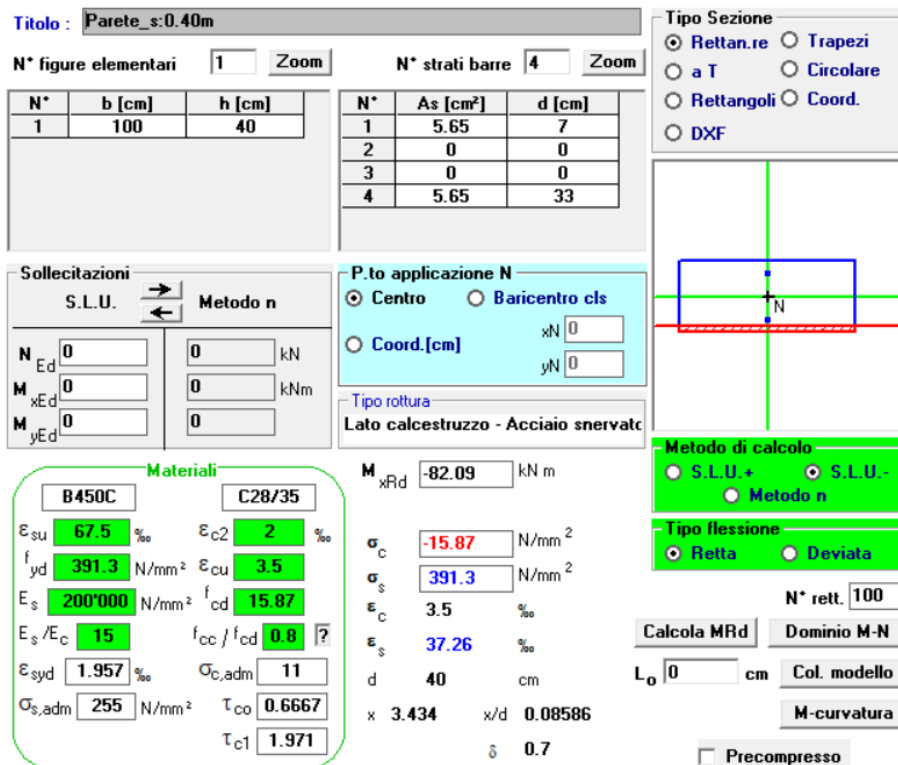


Figura 12.46 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

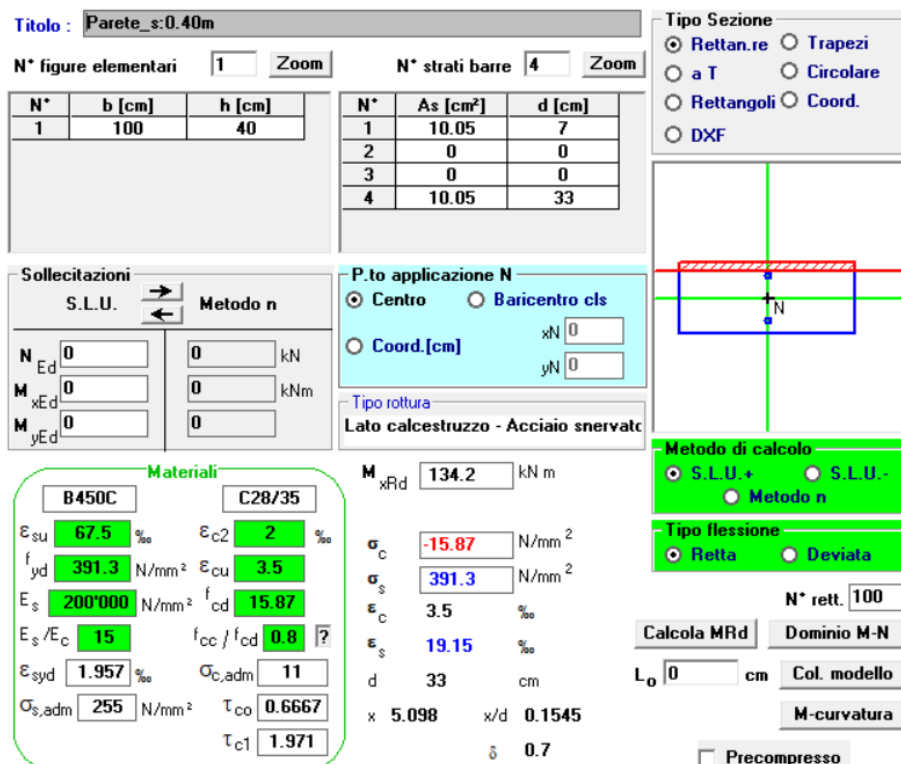


Figura 12.47 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

**Titolo :** Parete\_s:0.40m

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7
2	0	0
3	0	0
4	10.05	33

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

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

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

**Materiali**  
 B450C C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

**P.to rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

$M_{xRd}$  -134.2 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  23.96 ‰  
 d 40 cm  
 x 5.098 x/d 0.1275  
 $\delta$  0.7

N° rett. 100  
   
 $L_0$  0 cm   
  
 Precompresso

Figura 12.48 Momento resistente negativo per sollecitazione  $M_{22}$

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.



### **12.1.2. VERIFICA A TAGLIO PARETI**

La verifica a taglio è stata eseguita per la sola sollecitazione data dall'azione sismica nella direzione X, in quanto maggiormente influente rispetto alle altre sollecitazioni.

Come nei casi precedenti, si sono analizzate tutte le pareti presenti, prendendo come sollecitazione tagliante agente la maggiore tra quella alla base e in testa alla parete.

L'armatura considerata è composta da barre longitudinali  $\phi 16/20\text{cm}$  e da legature  $\phi 12$  40x20cm.

La resistenza a taglio è determinata sulla base delle indicazioni delle NTC2018 per elementi non armati a taglio considerando il contributo delle sole armature tese. Si fa notare inoltre, che la resistenza a taglio così determinata risulta a vantaggio di sicurezza essendo la sezione armata con legature (di cui sopra) le quali determinano una resistenza a taglio maggiore.

#### **12.1.2.1. CASO DI CARICO: Ex+**

Le sollecitazioni taglianti  $V_{23}$  per le pareti analizzate vengono riportate di seguito:

##### *PARETE 1:*

- Parete 1:  $V_{23} = -140\text{kN/m}$ ;
- Parete 2:  $V_{23} = -80\text{kN/m}$ ;
- Parete 3:  $V_{23} = -100\text{kN/m}$ ;
- Parete 4:  $V_{23} = -70\text{kN/m}$ ;

Il taglio resistente della sezione è riportato di seguito:

SEZIONE					
$b_w$	=	100	cm		
$h$	=	40	cm		
$c$	=	7	cm		
$d$	=	$h-c$	=	33	cm
MATERIALI					
$f_{ywd}$	=	391.30	MPa		
$R_{ck}$	=	35.00	MPa		
$\gamma_c$	=	1.5			
$f_{ck}$	=	$0.83 \cdot R_{ck}$	=	29.05	MPa
$f_{cd}$	=	$0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c$	=	16.46	MPa
ARMATURE LONGITUDINALI					
$\phi_l$	=	16			
Numero	=	5			
$A_{sl}$	=	10.05	cm <sup>2</sup>		
<b>TAGLIO AGENTE</b>		$V_{Ed} =$	0	(KN)	
<b>SFORZO NORMALE</b>		$N_{Ed} =$	0	(KN)	
ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO					
$k$	=	1.78	$1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$		
$v_{min}$	=	0.447	$0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$		
$\rho_l$	=	0.0030			
$\sigma_{cp}$	=	0.0	(Mpa)		
$V_{Rd}$	=	145.68	(KN)	NO	147.7 (KN)
$V_{Rd}$	=	<b>147.65</b>	(KN)		
$\alpha_c =$		1.00		$N_{ed}/A_c =$	0.0000 (Mpa)

Figura 12.49 Determinazione del taglio resistente

Per ogni parete risulta  $V_{Ed} < V_{Rd}$ . La verifica è soddisfatta.

### 12.1.3. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PLATEA DI FONDAZIONE

Per la verifica di tale elemento, si mantengono le medesime assunzioni fatte in precedenza.

La platea è armata con 2 diverse tipologie di armature:

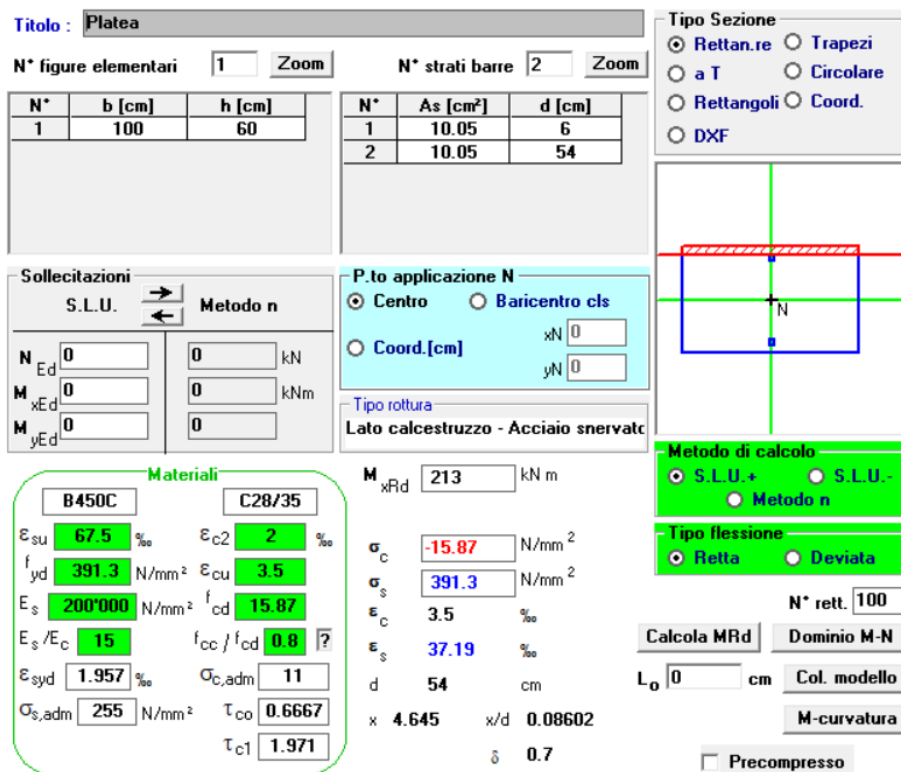
- $\Phi 16/20\text{cm}$  disposti nella direzione del momento  $M_{11}$ ;
- $\Phi 12/20\text{cm}$  disposti nella direzione del momento  $M_{22}$ .

#### 12.1.3.1. CASO DI CARICO: SLU\_1

PLATEA:

- Base:  $M_{22} = 30\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 60\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = -11\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -30\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = 35\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 65\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:



**Titolo:** Platea

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	10.05	6
			2	10.05	54

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

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U.  Metodo n   
 $N_{Ed}$  0 kN  
 $M_{xEd}$  0 kNm  
 $M_{yEd}$  0

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

**Materiali:**  
 B450C C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

**Calcolo:**  
 $M_{xRd}$  213 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  37.19 ‰  
 d 54 cm  
 x 4.645 x/d 0.08602  
 $\delta$  0.7

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

**Parametri:**  
 N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.50 Momento resistente positivo per sollecitazione  $M_{11}$

Titolo : Platea

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	6
2	10.05	54

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Materiali:  
B450C C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5%  $\epsilon_{c2}$  2%  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5%  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957%  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

M<sub>xRd</sub> -213 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5%  
 $\epsilon_s$  37.19%  
d 54 cm  
x 4.645 x/d 0.08602  
 $\delta$  0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello  
M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.51 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

Titolo : Platea

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6
2	5.65	54

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Materiali:  
B450C C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5%  $\epsilon_{c2}$  2%  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5%  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957%  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

M<sub>xRd</sub> 126.3 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5%  
 $\epsilon_s$  51.69%  
d 54 cm  
x 3.424 x/d 0.06341  
 $\delta$  0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello  
M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.52 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

**Titolo:** Platea

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6
2	5.65	54

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

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

**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

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

**Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipo flessione:**  
 Retta  Deviata

**N° rett.** 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>** 0 cm **Col. modello**  
**M-curvatura**  
 Precompresso

**Materiali:** B450C C28/35

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

**M<sub>xRd</sub>** -126.3 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  51.69 ‰  
d 54 cm  
x 3.424 x/d 0.06341  
 $\delta$  0.7

Figura 12.53 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

### 12.1.3.2. CASO DI CARICO: SLU\_no spinte

PLATEA:

- Base:  $M_{22} = 30\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 35\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = -4\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -8\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = 30\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 30\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

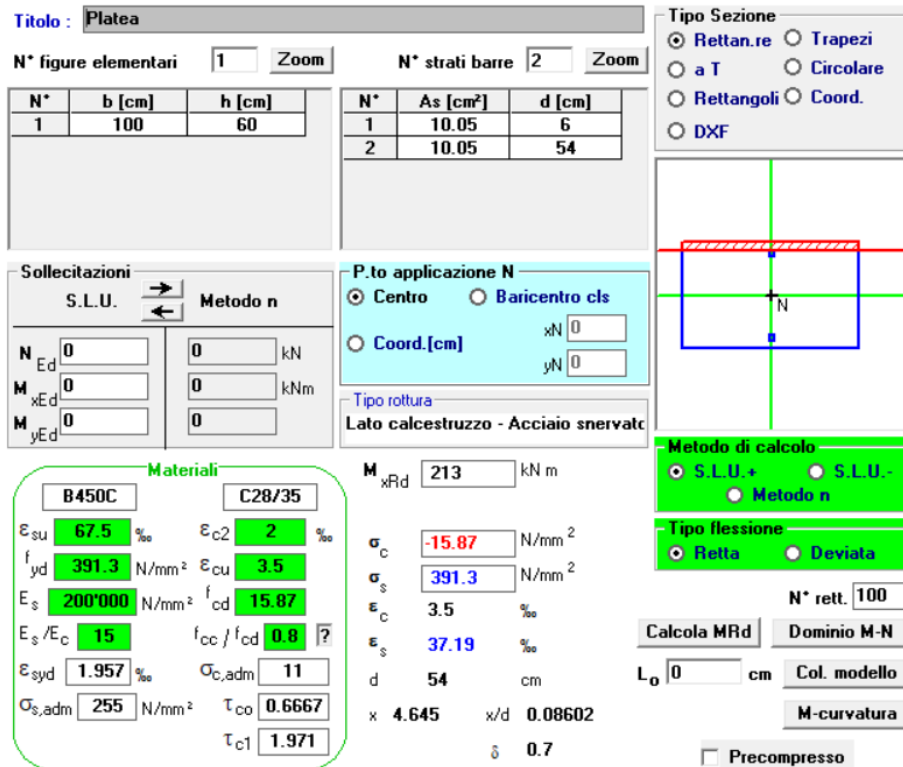


Figura 12.54 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

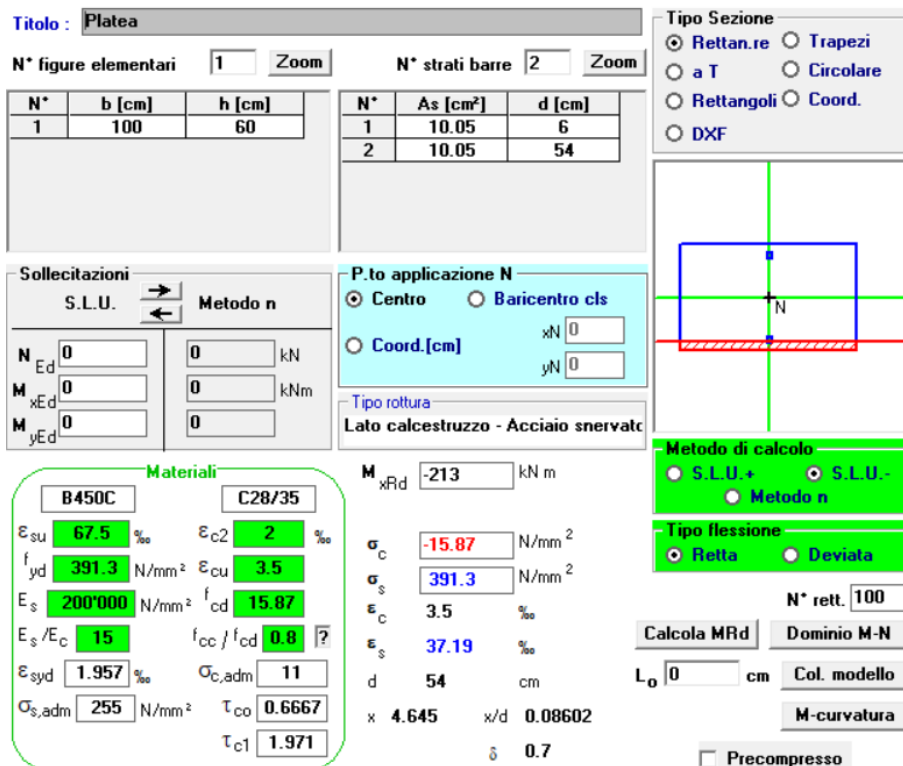


Figura 12.55 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

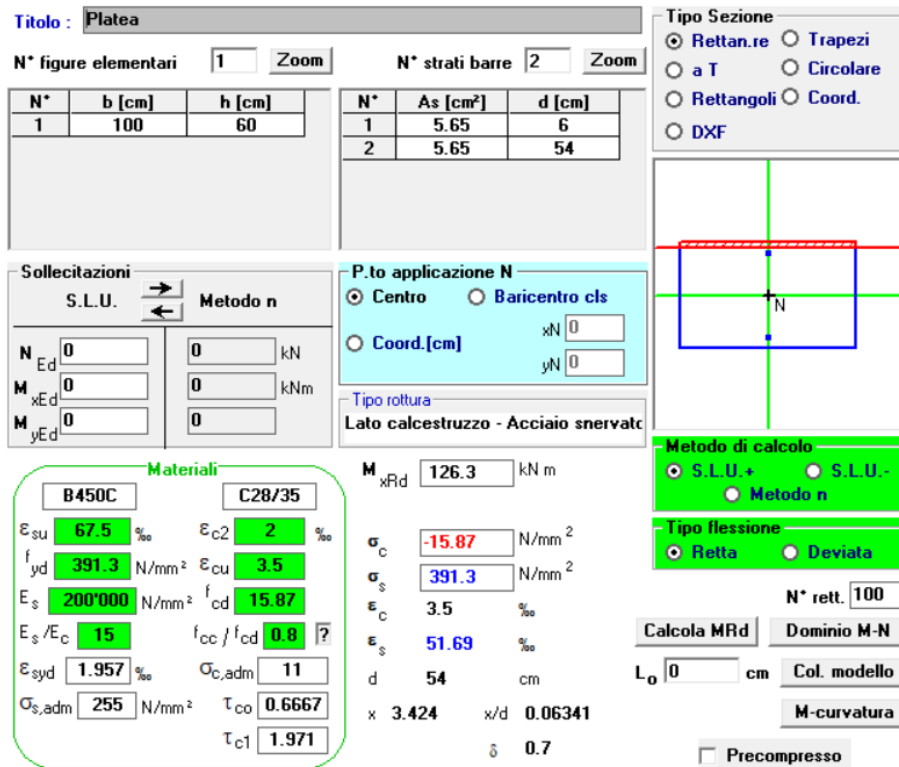


Figura 12.56 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

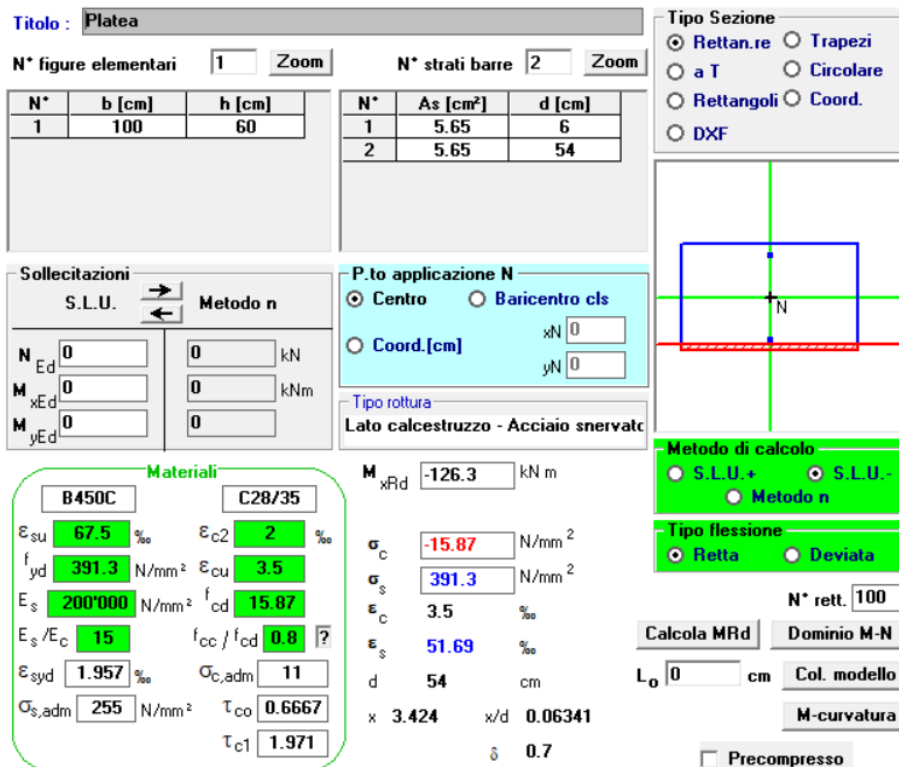


Figura 12.57 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

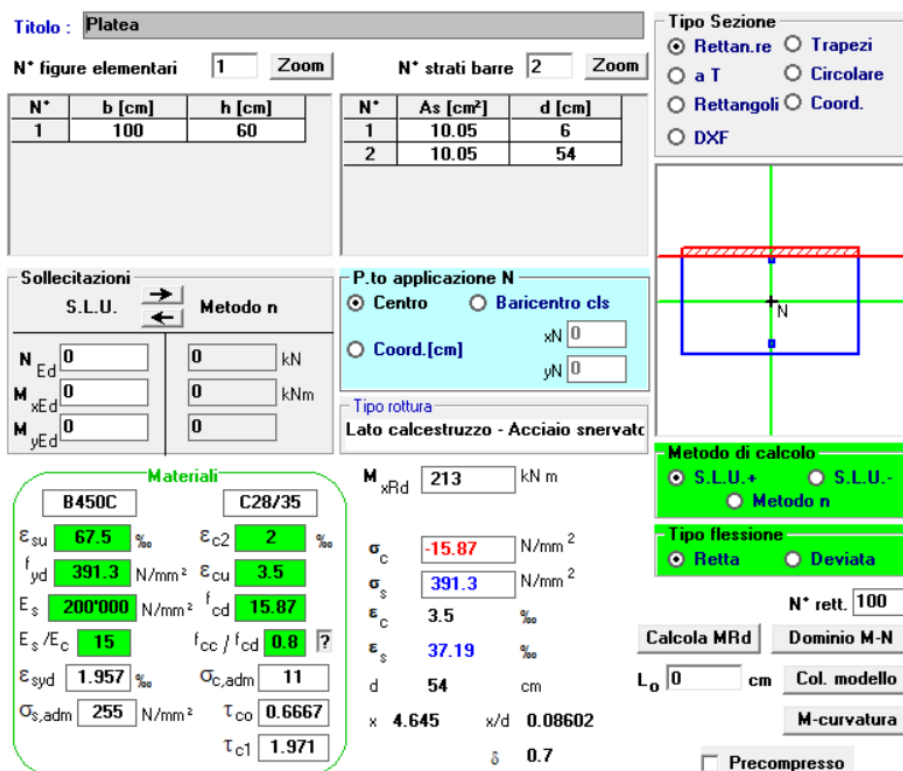
Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

### 12.1.3.3. CASO DI CARICO: Ex+

PLATEA:

- Base:  $M_{22} = 35\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 110\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = 20\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -25\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = 50\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 60\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:



**Titolo:** Platea

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	6
2	10.05	54

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

**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

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

**Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali:** B450C C28/35

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6667  
 $\tau_{c1}$  1.971

**M<sub>xRd</sub>** 213 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  37.19 ‰  
 d 54 cm  
 x 4.645 x/d 0.08602  
 $\delta$  0.7

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n  
**Tipo flessione:** Retta Deviata  
 N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.58 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>



Titolo : Platea

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

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N*	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	6
2	10.05	54

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

Sollecitazioni:  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Materiali:  
 B450C C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 % ε<sub>c2</sub> 2 %  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 %  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 15.87  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 % σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6667  
 τ<sub>c1</sub> 1.971

M<sub>xRd</sub> -213 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 %  
 ε<sub>s</sub> 37.19 %  
 d 54 cm  
 x 4.645 x/d 0.08602  
 δ 0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.59 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

Titolo : Platea

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

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N*	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6
2	5.65	54

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

Sollecitazioni:  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Materiali:  
 B450C C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 % ε<sub>c2</sub> 2 %  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 %  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 15.87  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 % σ<sub>c,adm</sub> 11  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6667  
 τ<sub>c1</sub> 1.971

M<sub>xRd</sub> 126.3 kN m  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 %  
 ε<sub>s</sub> 51.69 %  
 d 54 cm  
 x 3.424 x/d 0.06341  
 δ 0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.60 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>22</sub>

**Titolo:** Platea

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6
2	5.65	54

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

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

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

**Materiali**  
 B450C    C28/35  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²     $f_{cd}$  15.87  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰     $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0.6667  
                                   $\tau_{c1}$  1.971

**P.to rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

$M_{xRd}$  -126.3 kN m  
 $\sigma_c$  -15.87 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  51.69 ‰  
 d 54 cm  
 x 3.424    x/d 0.06341  
 $\delta$  0.7

N° rett. 100  
 Calcola MRd    Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Figura 12.61 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>22</sub>

Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

### 12.1.4. VERIFICA A TAGLIO PLATEA DI FONDAZIONE

Per lo svolgimento della verifica si fa riferimento alle considerazioni precedentemente indicate.

L'armatura considerata è composta da barre longitudinali  $\phi 16/20c$ .

#### 12.1.4.1. CASO DI CARICO: Ex+

Le sollecitazioni taglianti  $V_{13}$  per le pareti analizzate vengono riportate di seguito:

$$V_{13} = 100 \text{ kN/m.}$$

Il taglio resistente della sezione è riportato di seguito:

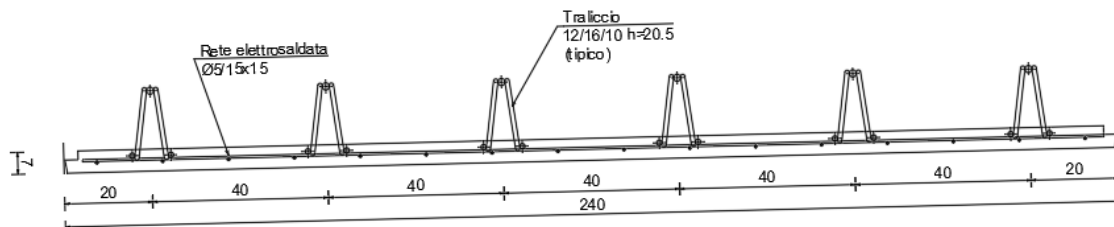
SEZIONE					
$b_w$	=	100	cm		
$h$	=	60	cm		
$c$	=	7	cm		
$d$	=	$h-c$	=	53	cm
MATERIALI					
$f_{ywd}$	=	391.30	MPa		
$R_{ck}$	=	35.00	MPa		
$\gamma_c$	=	1.5			
$f_{ck}$	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	29.05	MPa
$f_{cd}$	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	16.46	MPa
ARMATURE LONGITUDINALI					
$\phi_l$	=	16			
Numero	=	5			
$A_{sl}$	=	10.05	cm <sup>2</sup>		
TAGLIO AGENTE					
		$V_{Ed} =$	0	(KN)	
SFORZO NORMALE					
		$N_{Ed} =$	0	(KN)	
ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO					
$k$	=	1.61	$1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$		
$v_{min}$	=	0.387	$0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$		
$\rho_l$	=	0.0019			
$\sigma_{cp}$	=	0.0	(Mpa)		
$V_{Rd}$	=	181.34	(KN)	NO	205.1 (KN)
$V_{Rd}$	=	<b>205.06</b>	(KN)		
$\alpha_c$	=	1.00			
				$N_{ed}/A_{c=}$	0.0000 (Mpa)

Figura 12.62 Determinazione del taglio resistente

Per la sezione risulta  $V_{Ed} < V_{Rd}$ . La verifica è soddisfatta.

### 12.1.5. VERIFICA DELLA COPERTURA

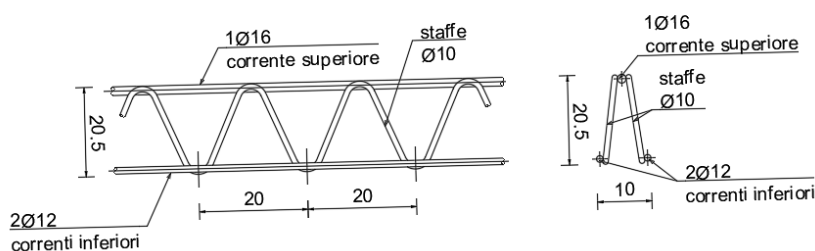
La copertura è realizzata in c.a. di spessore totale di 30cm gettata su predalles prefabbricate il cui fondello in calcestruzzo ha spessore 7cm. I trallicci hanno un'altezza pari a 205mm sono realizzati in acciaio B450C e disposti con interasse 40cm.



**Figura 12.63: Sezione trasversale tipologica della predalla**

Il corrente inferiore del traliccio è costituito da 2 barre  $\phi$  12 mentre il corrente superiore è costituito da una barra  $\phi$  16; le aste di parete diagonali del traliccio sono costituite da barre  $\phi$  10. La larghezza di calcolo di ogni singola predalla è di 2.40m.

Per i dettagli costruttivi si faccia riferimento agli specifici elaborati. Di seguito si riporta un particolare del Traliccio tipo Pittini:



**Figura 12.64: Sezione tipologica traliccio tipo Pittini**

#### 12.1.5.1. VERIFICA DELLA COPERTURA IN FASE DI GETTO

Per la verifica delle lastre durante la fase di getto, oltre al peso del getto di calcestruzzo fresco, si considera un carico accidentale di  $2 \text{ kN/m}^2$  che simula la presenza di operai e/o accumulo locale di materiale.

Di seguito sono riportati i dettagli del calcolo della verifica della fase di getto. Le verifiche non sono soddisfatte, pertanto, verranno impiegati dei puntelli posti al di sotto della copertura per sostenere il peso del cls durante la fase di getto.

VERIFICA PREDALLES CAMPATA			
<b>DATI</b>			
LUCE DELLA CAMPATA	L =	5.70	m
SPESSORE SOLETTA CLS	S <sub>s</sub> =	0.30	m
SPESSORE FONDELLO CLS	S <sub>f</sub> =	0.07	m
INTERASSE TRASVERSALE TRALICCI	i =	0.40	m
Altezza efficace dei correnti (asse - asse)	h <sub>eff</sub> =	0.205	m
Passo diagonali (dir. LN al traliccio)	l =	20.00	cm
Interasse trasversale dei correnti inferiori	i <sub>ci</sub> =	12.00	cm
Larghezza predalle	B <sub>pred</sub> =	2.4	m
n° tralici per predalle	n°tral. =	6	
Carichi accidentali di getto	q <sub>acc</sub> =	2.00	kN/mq
<b>SOLLECITAZIONI AGENTI</b>			
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DEI CARICHI G	γ <sub>G</sub> =	1.35	
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DEI CARICHI q	γ <sub>q</sub> =	1.50	
sollecitazioni agli SLU su singolo traliccio			
Carico uniformemente distribuito	q <sub>G+q</sub> =	6.20	kN
MOMENTO FLETTENTE	M =	25.16	kNm
TAGLIO	V =	17.66	kN
SFORZO NORMALE (di traz/compr nei correnti) M/h <sub>eff</sub>	N =±	122.73	kN
<b>CORRENTE INFERIORE</b>			
AREA DEL CORRENTE INFERIORE	A <sub>inf</sub> =	2.26	cm <sup>2</sup>
Tensione nella singola barra (trazione)	σ <sub>S</sub> =	-542.6	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione N <sub>c,Rd</sub>	N <sub>t,Rd</sub> =	96.9	kN
<b>N/N<sub>c,Rd</sub> &lt; 1</b>	<b>N/N<sub>t,Rd</sub> =</b>	<b>1.27</b>	
<b>CORRENTE SUPERIORE</b>			
AREA DEL CORRENTE SUPERIORE	A <sub>sup</sub> =	2.01	cm <sup>2</sup>
Tensione nella barra (compressione)	σ <sub>S</sub> =	610.4	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione N <sub>c,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub> =	86.17	kN
<b>N/N<sub>c,Rd</sub> &lt; 1</b>	<b>N/N<sub>c,Rd</sub> =</b>	<b>1.424</b>	
<b>STABILITA' CORR. SUP.</b>			
Coefficiente di vincolo β <sub>v</sub>	β <sub>v</sub> =	1	
Lunghezza tra due tralici successivi	l =	20.00	cm
Lunghezza libera d'inflessione l <sub>0</sub> =l*β	l <sub>0</sub> =	20.00	cm
N critico euleriano	N <sub>cr</sub> =	166.69	kN
Snellezza adimensionale	λ <sub>ad</sub> =	0.74	
Fattore di imperfezione	α <sub>i</sub> =	0.49	
coefficiente φ	φ =	0.90	
Coefficiente χ	χ =	0.702	
Coefficiente gamma M1	γ <sub>M1</sub> =	1.10	
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA N <sub>b,Rd</sub>	N <sub>b,Rd</sub> =	57.73	kN
<b>N/N<sub>b,Rd</sub> &lt; 1</b>	<b>N/N<sub>b,Rd</sub> =</b>	<b>2.126</b>	
<b>DIAGONALI</b>			
AREA DEI DIAGONALI	A <sub>dia</sub> =	1.57	cm <sup>2</sup>
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA TRASVERSALE	α =	16.8	deg
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA LONGITUDINALE	β =	27.9	deg
SFORZO NORMALE NEL SINGOLO DIAGONALE (Compressione)	N =	10.44	kN
Tensione nella singola barra (compressione)	σ <sub>S</sub> =	132.9	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione N <sub>c,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub> =	33.66	kN
<b>N/N<sub>c,Rd</sub> &lt; 1</b>	<b>N/N<sub>c,Rd</sub> =</b>	<b>0.310</b>	
<b>STABILITA'</b>			
Coefficiente di vincolo β <sub>v</sub>	β <sub>v</sub> =	1	
Lunghezza del diagonale	l =	23.58	cm
Lunghezza libera d'inflessione l <sub>0</sub> =l*β	l <sub>0</sub> =	23.58	cm
N critico euleriano	N <sub>cr</sub> =	18.29	kN
Snellezza adimensionale	λ <sub>ad</sub> =	1.39	
Fattore di imperfezione	α <sub>i</sub> =	0.49	
coefficiente φ	φ =	1.76	
Coefficiente χ	χ =	0.353	
Coefficiente gamma M1	γ <sub>M1</sub> =	1.10	
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA N <sub>b,Rd</sub>	N <sub>b,Rd</sub> =	11.34	kN
<b>N/N<sub>b,Rd</sub> &lt; 1</b>	<b>N/N<sub>b,Rd</sub> =</b>	<b>0.920</b>	
Portata residua dei diagonali	N <sub>res</sub> =	0.9	kN
	V <sub>res</sub> =	1.5	kN
	V <sub>res</sub> =	3.8	kN/m

Figura 12.65 Verifica predalles

PROGETTAZIONE ATI:

### **12.1.5.2. VERIFICA PER FASI SUCCESSIVE: VERIFICA A FLESSIONE**

La verifica a flessione viene svolta considerando le sollecitazioni flettenti in entrambe le direzioni:  $M_{11}$  e  $M_{22}$ .

L'armatura della sezione in direzione  $M_{11}$  è costituita da 3 registri. Considerando 1.00m di copertura, si ha:

- registro1:  $2\phi 16\text{mm}$ ;
- registro2:  $2\phi 16\text{mm}$ ;
- armatura inferiore traliccio:  $4\phi 12\text{mm}$ .

L'armatura della sezione in direzione  $M_{22}$  è costituita da 2 registri. Considerando 1.00m di copertura, si ha:

- registro1:  $\phi 12/20\text{cm}$ ;
- registro2:  $\phi 12/20\text{cm}$ .

Si riporta di seguito la verifica che viene eseguita con riferimento ai diversi casi di carico.

*SLU\_1:*

- Base:  $M_{22} = 30\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 60\text{kNm}$ ;
- Centro:  $M_{22} = -11\text{kNm}$ ;  $M_{11} = -30\text{kNm}$ ;
- Testa:  $M_{22} = 35\text{kNm}$ ;  $M_{11} = 65\text{kNm}$ ;

Il due momenti resistenti della sezione sono riportati di seguito:

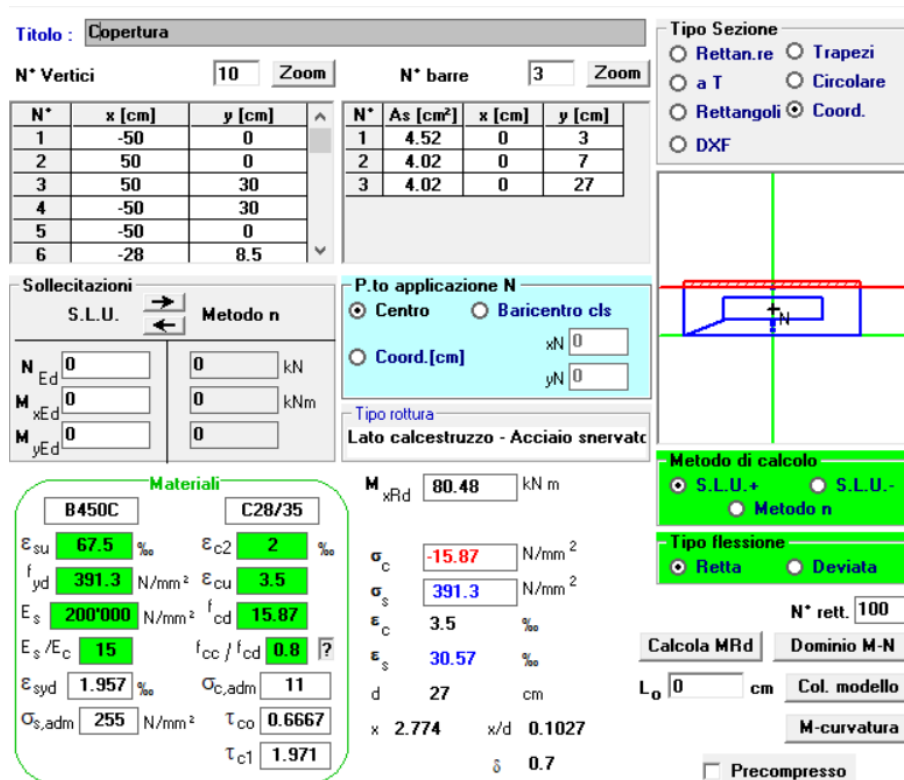


Figura 12.66 Momento resistente positivo per sollecitazione M<sub>11</sub>

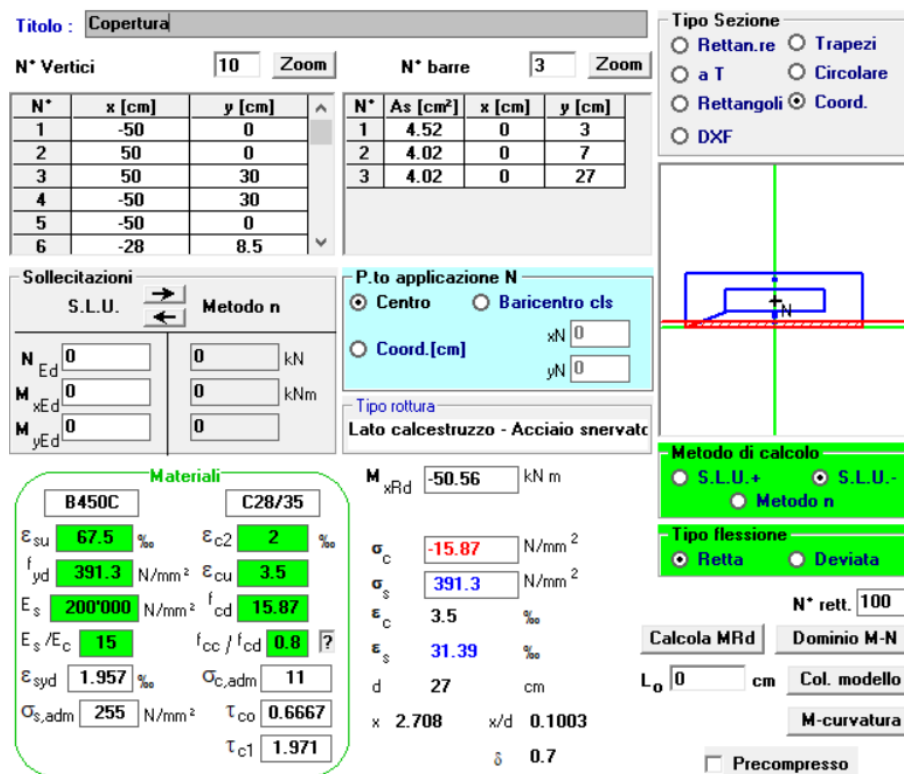


Figura 12.67 Momento resistente negativo per sollecitazione M<sub>11</sub>

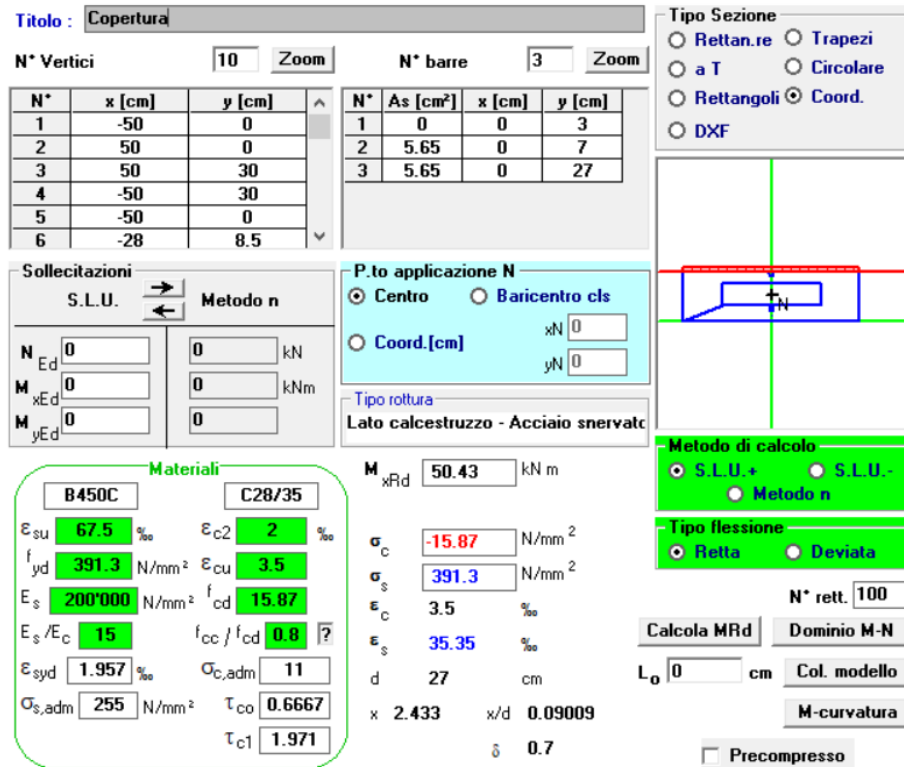


Figura 12.68 Momento resistente positivo per sollecitazione  $M_{22}$

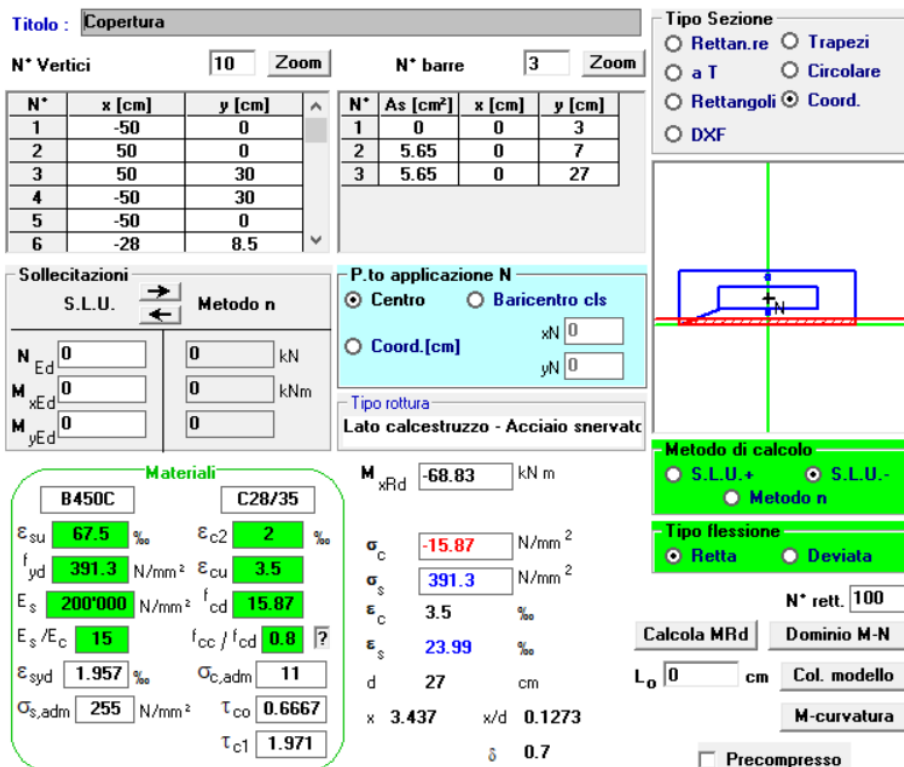


Figura 12.69 Momento resistente negativo per sollecitazione  $M_{22}$



Per ogni sezione analizzata risulta  $M_{Ed} < M_{Rd}$ . Le verifiche sono soddisfatte.

### 12.1.5.3. VERIFICA A TAGLIO COPERTURA

Le sollecitazioni taglianti  $V_{13}$  per le pareti analizzate vengono riportate di seguito:

$$V_{13} = 30 \text{ kN/m.}$$

Il taglio resistente della sezione è stato calcolato considerando reagente solo l'armatura inferiore del traliccio ( $4\phi 12\text{mm}$ ).

La determinazione del taglio resistente è riportata di seguito:

SEZIONE					
$b_w$	=	100	cm		
$h$	=	30	cm		
$c$	=	3	cm		
$d$	=	$h-c$	=	27	cm
MATERIALI					
$f_{ywd}$	=	391.30	MPa		
$R_{ck}$	=	35.00	MPa		
$\gamma_c$	=	1.5			
$f_{ck}$	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	29.05	MPa
$f_{cd}$	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	16.46	MPa
ARMATURE LONGITUDINALI					
$\phi_l$	=	12			
Numero	=	4			
$A_{sl}$	=	4.52	cm <sup>2</sup>		
<b>TAGLIO AGENTE</b>		$V_{Ed} =$	0	(KN)	
<b>SFORZO NORMALE</b>		$N_{Ed} =$	0	(KN)	
ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO					
$k$	=	1.86	$1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$		
$v_{min}$	=	0.479	$0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$		
$\rho_l$	=	0.0017			
$\sigma_{cp}$	=	0.0	(Mpa)		
$V_{Rd}$	=	102.17	(KN)	NO	129.3 (KN)
$V_{Rd}$	=	129.27	(KN)		
$\alpha_c$	=	1.00		$N_{ed}/A_{c,=}$	0.0000 (Mpa)

Figura 12.70 Determinazione del taglio resistente

Per la sezione risulta  $V_{Ed} < V_{Rd}$ . La verifica è soddisfatta.

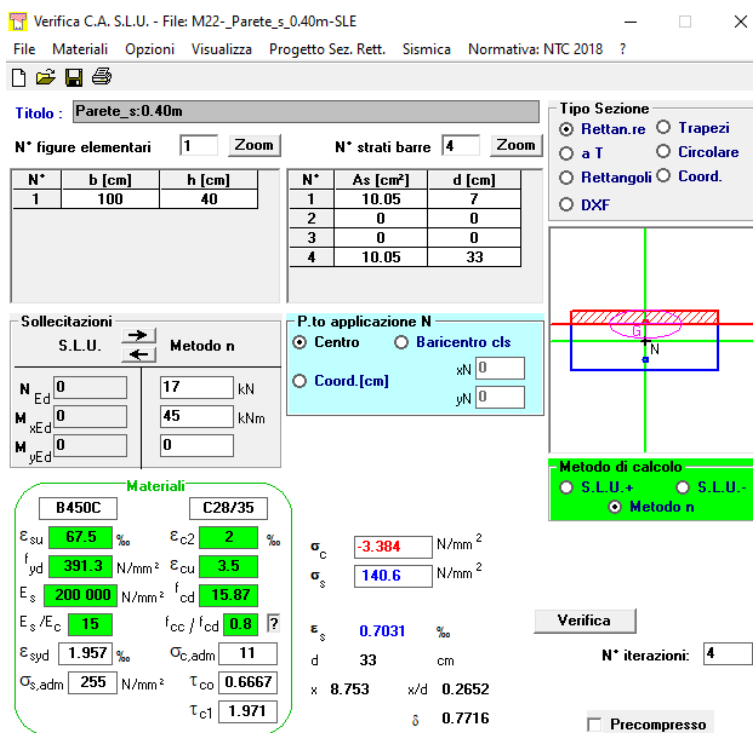
## 12.2. VERIFICA SLE

### 12.2.1. VERIFICA DELLE TENSIONI DEI MATERIALI

Nel seguente capitolo verrà riassunta la valutazione degli sforzi della struttura agli SLE e si verificherà che tali sforzi siano contenuti entro i limiti dettati dalla norma e precedentemente riassunti nei criteri generali di verifica.

#### PARETI

Le massime sollecitazioni agenti allo stato limite caratteristico risultano  $M_{max}=45\text{kNm}$ ,  $N=17\text{kN}$ .



Titolo: Parete\_s:0.40m

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	10.05	7
			2	0	0
			3	0	0
			4	10.05	33

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN M<sub>Ed</sub>: 0 kNm M<sub>Ed</sub>: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Coord.[cm]: xN 0 yN 0

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

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Materiali: B450C C28/35

$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200 000 N/mm²	$f_{cd}$	15.87
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.6667
		$\tau_{c1}$	1.971

$\sigma_c$ : -3.384 N/mm²  $\sigma_s$ : 140.6 N/mm²

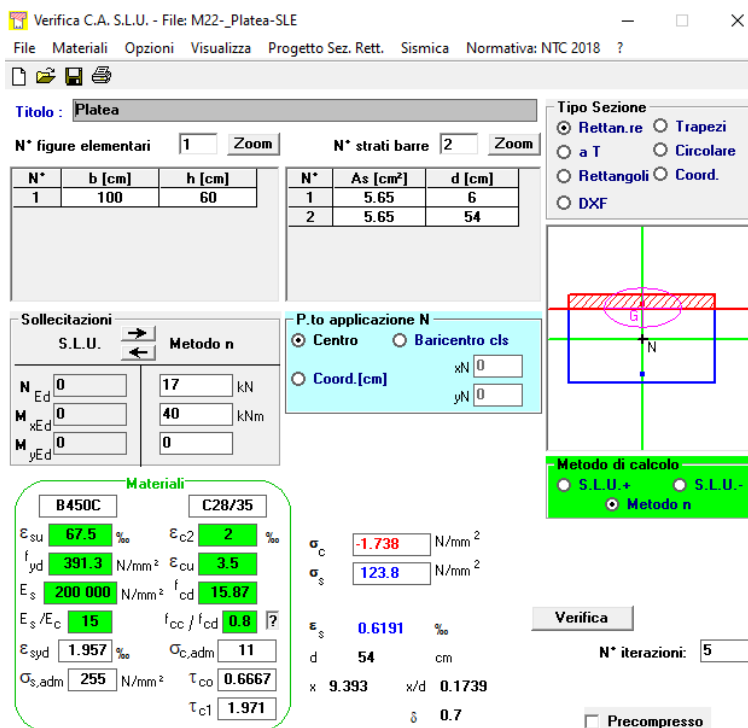
$\epsilon_s$ : 0.7031 ‰  $d$ : 33 cm

$x$ : 8.753 x/d: 0.2652  $\delta$ : 0.7716

Figura 12.71 Verifica delle tensioni – Combinazione Rara

**PLATEA**

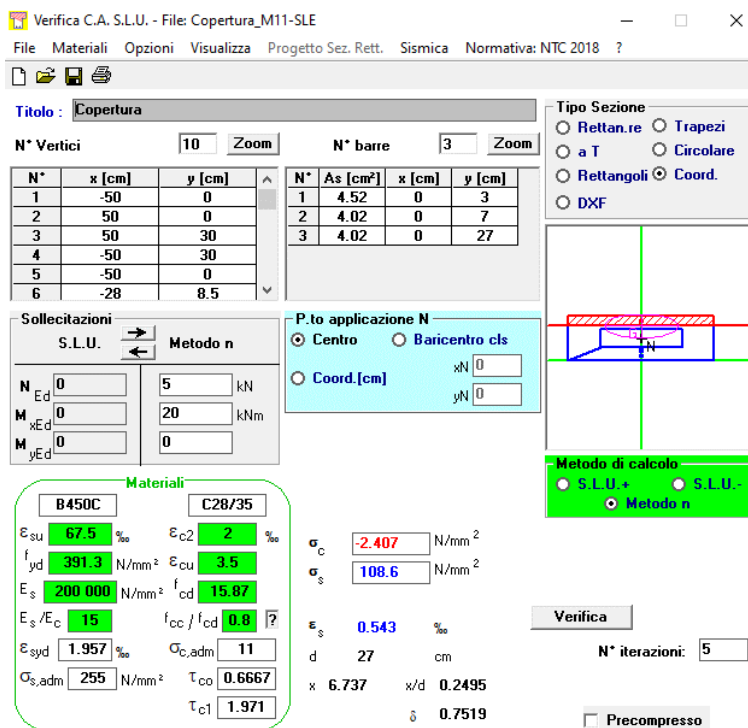
Le massime sollecitazioni agenti allo stato limite caratteristico risultano  $M_{max}=40\text{kNm}$ ,  $N=17\text{kN}$ .



**Figura 12.72 Verifica delle tensioni – Combinazione Rara**

**COPERTURA**

Le massime sollecitazioni agenti allo stato limite caratteristico risultano  $M_{max}=20kNm$ ,  $N=5kN$ .



**Figura 12.73 Verifica delle tensioni – Combinazione Rara**

Tutte le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

### **12.2.2. VERIFICA DELLA FESSURAZIONE – SLE FREQUENTE**

La verifica a fessurazione risulta soddisfatta per via indiretta in riferimento ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III della Circolare applicativa delle NTC 2018.

Le massime tensioni dell'acciaio risultano infatti  $\sigma_s \ll 160$  MPa per tutte le sezioni esaminate.

### **12.2.3. VERIFICA DELLA FESSURAZIONE – SLE QUASI PERMANENTE**

La verifica a fessurazione risulta soddisfatta, per via indiretta in riferimento ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III della Circolare applicativa delle NTC 2018.

Le massime tensioni dell'acciaio risultano infatti  $\sigma_s \ll 160$  MPa per tutte le sezioni esaminate.

### 13. VERIFICA DI EQUILIBRIO

Al fine di controllare l'equilibrio globale della struttura e delle sue parti durante tutta la vita nominale, comprese le fasi di costruzione e di riparazione, si distingue tra le verifiche allo stato limite ultimo quella di equilibrio come corpo rigido.

La verifica di equilibrio risulta essenziale data la presenza della falda, che potrebbe indurre dei fenomeni di galleggiamento.

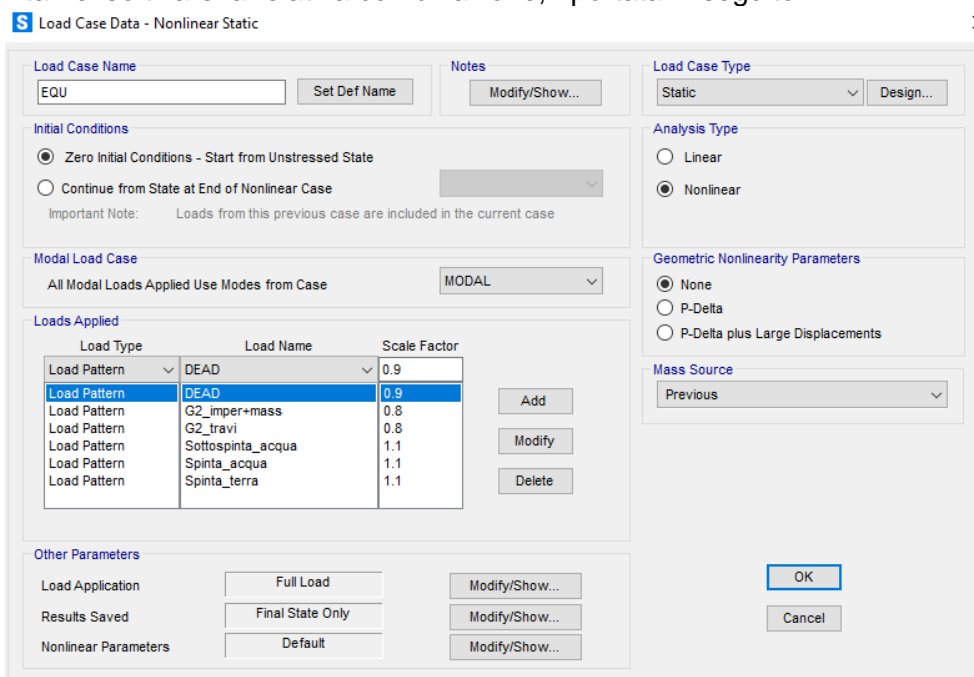
Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna EQU della Tabella 2.6.I del D.M. 17/01/2018.

**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

È stata definita nel software la relativa combinazione, riportata in seguito:



**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: EQU [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:
 

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	0.9
Load Pattern	DEAD	0.9
Load Pattern	G2_imper+mass	0.8
Load Pattern	G2_travi	0.8
Load Pattern	Sottospinta_acqua	1.1
Load Pattern	Spinta_acqua	1.1
Load Pattern	Spinta_terra	1.1

Other Parameters:
 

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Buttons: OK, Cancel

**TABLE: Base Reactions**

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
EQU	NonStatic	Max	193	-23	682	959	118	2309
EQU	NonStatic	Min	193	-23	682	959	118	2309

PROGETTAZIONE ATI:

La reazione dei vincoli risulta positiva in accordo alla definizione delle molle a compressione, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

PROGETTAZIONE ATI:

#### 14. VERIFICA DELLA CARPENTERIA METALLICA INTERNA

Per la carpenteria metallica interna si effettuano le verifiche a flessione e a taglio per le due differenti travi considerate nel modello strutturale, IPE300 (travi longitudinali rampe) e IPE240 (travi trasversali), in accordo al D.M. 17/01/2018.

Si esegue inoltre una verifica a compressione per la colonna HE140A per instabilità.

Si riportano le massime sollecitazioni agenti allo stato limite ultimo

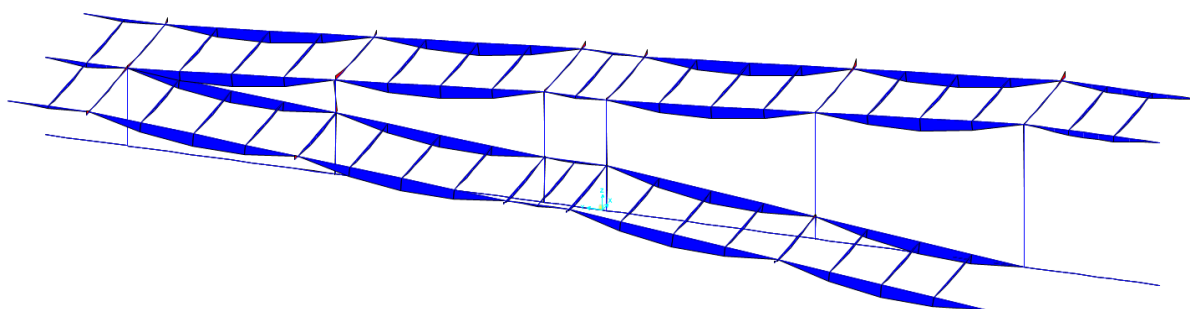


Figura 14.1 Momento flettente - SLU

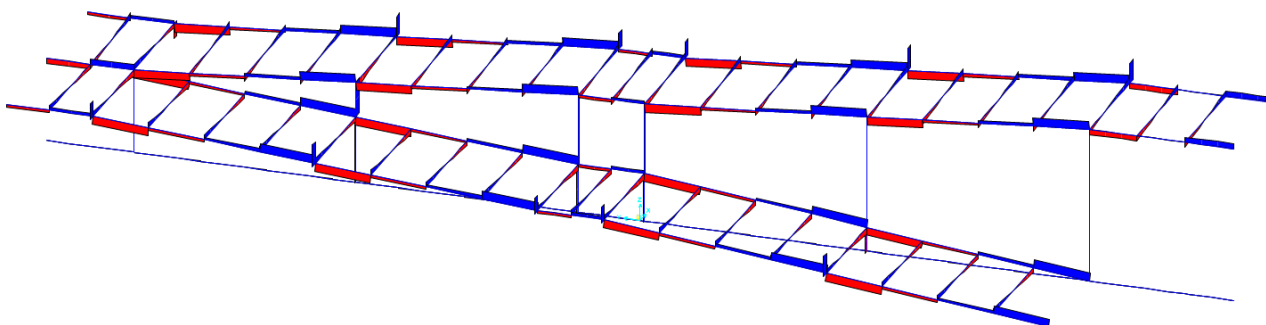


Figura 14.2 Taglio - SLU

PROGETTAZIONE ATI:



### IPE300

Il massimo momento flettente risulta  $M_{Ed} = 30\text{kNm}$ .

La resistenza di progetto a flessione retta della sezione  $M_{c,Rd}$  vale:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Il modulo di resistenza plastico della sezione IPE 300 risulta  $W_{pl} = 628.4 \text{ cm}^3$ .

La verifica risulta soddisfatta

$M_{Ed} =$	30.00 [kNm]	$M_{Ed} / M_{c,Rd} =$	0.14 <sup>▲</sup>
$M_{c,Rd} =$	212.46 [kNm]		

Il massimo taglio agente risulta  $V_{Ed} = 19\text{kN}$ .

La resistenza di progetto a taglio  $V_{c,Rd}$ , vale:

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

La verifica risulta soddisfatta

$V_{Ed} =$	19.00 [kN]	$V_{Ed} / V_{pl,Rd} =$	0.04 <sup>▲</sup>
$V_{pl,Rd} =$	501.27 [kN]		

### IPE240

Il massimo momento flettente risulta  $M_{Ed} = 12\text{kNm}$ .

Il modulo di resistenza plastico della sezione IPE 300 risulta  $W_{pl} = 366.6 \text{ cm}^3$ .

La resistenza di progetto a flessione retta della sezione  $M_{c,Rd}$  vale:

$M_{Ed} =$	12.00 [kNm]	$M_{Ed} / M_{c,Rd} =$	0.10 <sup>▲</sup>
$M_{c,Rd} =$	123.95 [kNm]		

Il massimo taglio agente risulta  $V_{Ed} = 17\text{kN}$ .

La resistenza di progetto a taglio  $V_{c,Rd}$ , vale

$V_{Ed} =$	17.00 [kN]	$V_{Ed} / V_{pl,Rd} =$	0.05 <sup>▲</sup>
$V_{pl,Rd} =$	373.76 [kN]		

### HE140A

Sulle colonne il massimo sforzo normale agente risulta  $N_{Ed} = 101\text{kN}$ .

Considerando lo schema di colonna doppiamente incernierata, la lunghezza libera di inflessione coincide con la lunghezza dell'elemento. Si esamina l'elemento più critico avente lunghezza di inflessione pari a 2.55m.

La resistenza di progetto all'instabilità nell'asta compressa risulta

$N_{Ed} =$	101.00 [kN]	$N_{Ed} / N_{b,Rd} =$	0.17 <sup>▲</sup>
$N_{b,Rd} =$	606.06 [kN]		

PROGETTAZIONE ATI: