

BAUHERR - COMMITTENTE			STEMPEL - TIMBRO			
<div>GEMEINDE BOZEN COMUNE DI BOLZANO ABTEILUNG FÜR ÖFFENTLICHE ARBEITEN RIPARTIZIONE LAVORI PUBBLICI LANCIASTRASSE - VIA LANCIA 4/A 39100 BÖZEN - BOLZANO STEUERNR. - PART. IVA 00389240219</div>			<div></div>			
PROJEKT			PROGETTO			
<div>EINREICHSPROJEKT PROGETTO DEFINITIVO  TIEFGARAGE AM SIEGESPLATZ UND OBERFLÄCHENGESTALTUNG DES PLATZES PARCHEGGIO INTERRATO IN PIAZZA DELLA VITTORIA E SISTEMAZIONE SUPERFICIALE DELLA PIAZZA  CUP I55F13000170004</div>						
Datum data	Abänderung aggiornamento			ausgearbeitet redatto	genehmigt approvato	
22.01.2019	Prima emissione			MV2	MV1	
INHALT			CONTENUTO			
STATISCHE BERECHNUNG			RELAZIONE DI CALCOLO			
<div>PROJEKTANT - PROGETTISTA: <div>STUDIO DI INGEGNERIA BAUINGENIEURBÜRO DOTT. ING. MARIO VALDEMARIN Bressanone, via Mercato Vecchio 21 Altenmarktgasse, Brixen (BZ) tel. 0472-835576; fax 0472-836748; studio@valdemarin.it</div></div>			STEMPEL - TIMBRO			
ARCHITEKTUR - ARCHITETTURA:		ACQUEDOTTI E FOGNATURE: TRINK- UND ABWASSERLEITUNGEN:		BRANDSCHUTZ - ANTINCENDIO:		
<div><div>arch. Andrea Beretti 20123 Milano - Via Lanzzone 49 T + 39 02 86455380 info@annagiorgiandpartners.it www.annagiorgiandpartners.it</div></div>		ING. MARCELLO BOTTA		<div>Dott. Ing. Marco Bianco architettura e antincendio Bressanone, via G. Carducci 1 , Brixen (BZ) Trento, viale N. Bolognini 10, Trient (TN) tel. 349 0597748 - marco.bianco@outlook.com</div>		
Datum data	File file	ausgearbeitet redatto	genehmigt approvato	Masstab scala	Projektcode cod. progetto	Dokument documento
22/01/2019	09/18/D01	MV2	MV1	-	0918	1.4

# INDICE

<b>1.</b>	<b>DESCRIZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>VERIFICA SOSTEGNO SCAVI .....</b>	<b>4</b>
3.1.	CARATTERISTICHE DEL TERRENO .....	4
3.2.	MATERIALI DEGLI ELEMENTI DI SOSTEGNO .....	4
3.3.	CARATTERISTICHE GEOMETRICO-STATICHE .....	5
3.4.	ANALISI DEI CARICHI.....	6
3.5.	MODELLO DI CALCOLO .....	7
3.6.	VERIFICA.....	8
3.7.	STABILITÀ GLOBALE DELLA PARATIA .....	11
3.8.	SPOSTAMENTI .....	13
3.9.	SOLLECITAZIONI SU SOLAI E DIAFRAMMI .....	15
3.10.	VERIFICA STRUTTURALE DIAFRAMMI .....	18
3.11.	VERIFICA DELLA PARATIA TIRANTATA.....	20
<b>4.</b>	<b>SOLAIO DI COPERTURA .....</b>	<b>23</b>
4.1.	MATERIALI .....	23
4.2.	CARATTERISTICHE GEOMETRICO-STATICHE .....	24
4.3.	ANALISI DEI CARICHI E CASI ELEMENTARI.....	25
4.4.	MODELLO DI CALCOLO .....	25
4.5.	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI .....	26
4.6.	COMBINAZIONI .....	28
4.7.	ARMATURE .....	28
<b>5.</b>	<b>SOLAIO INTERNO TIPO .....</b>	<b>31</b>
5.1.	MATERIALI .....	31
5.2.	CARATTERISTICHE GEOMETRICO-STATICHE .....	31
5.3.	ANALISI DEI CARICHI E CASI ELEMENTARI.....	32
5.4.	MODELLO DI CALCOLO .....	33
5.5.	SOLLECITAZIONI ELEMENTARI .....	34
5.6.	COEFFICIENTI DI SICUREZZA E COMBINAZIONI .....	37
5.7.	ARMATURE E VERIFICHE .....	38
<b>6.</b>	<b>PILASTRI .....</b>	<b>41</b>
6.1.	PILASTRO TIPO FILA CENTRALE (40x220 CM) .....	41
6.2.	PILASTRO TIPO FILA LATERALE (40x160 CM).....	46
<b>7.</b>	<b>FONDAZIONI .....</b>	<b>51</b>
7.1.	TRAVE CENTRALE.....	51
7.2.	TRAVE LATERALE .....	55

## **1. DESCRIZIONE**

La seguente relazione riguarda il dimensionamento e la verifica preliminare del parcheggio sotterraneo in piazza della Vittoria a Bolzano.

Il progetto prevede la costruzione di sei piani interrati con una profondità di scavo di circa -18,0 m dal piano campagna e dimensioni massime in pianta di 78,14 x 45,34 m.

Il sostegno dello scavo è realizzato mediante una cinturazione ottenuta con un diaframma continuo perimetrale in c.a. di 1,00 m di spessore e 22,30 m di altezza. Il diaframma è contrastato dal getto del 2° e del 4° solaio. La puntellazione dei diaframmi è prevista o attraverso il contatto diretto delle solette di piano in c.a. di 30 cm di spessore o, nel caso delle aperture di areazione, con puntelli in c.a. 50 x 30 cm con passo 2,60 m inseriti nelle rispettive solette. In questa situazione il diaframma si comporta in maniera molto rigida riducendo al minimo gli spostamenti orizzontali e verticali del terreno circostante e quindi i possibili cedimenti delle fondazioni degli edifici che circondano la piazza.

Nei casi in cui la puntellazione non risultasse possibile, come ad esempio nella zona delle due rampe elicoidali o del secondo corpo scala, i diaframmi saranno contrastati mediante 4 tiranti a 4-6 trefoli in acciaio per c.a. precompresso della lunghezza di 25,00 m, di cui 10 m connessi, con passo orizzontale di 2,60 m e passo verticale di 4,00 m.

Tutta la struttura viene costruita secondo il metodo TOP-DOWN, di seguito sinteticamente descritto:

- a) dopo la costruzione del diaframma in c.a. il terreno viene scavato fino alla quota del 2° solaio interrato e vengono eseguiti i micropali, che dovranno sostenere provvisoriamente i due solai necessari per il contrasto: 2° e 4° interrato;
- b) successivamente al getto del 2° solaio interrato e alla sua maturazione, lo scavo del terreno procederà fino a raggiungere il 4° solaio interrato e, dopo il getto e la maturazione di quest'ultimo, proseguirà fino a raggiungere la quota del piano fondazioni;
- c) eseguite quest'ultime si realizzeranno i pilastri del 6° piano interrato e del solaio corrispondente e si procederà via via in questo modo verso l'alto, conglobando nel getto dei pilastri 1 o 2 micropali provvisori infissi inizialmente.

Le fasi lavorative, che prevedono l'esecuzione del sistema costruttivo TOP-DOWN sono descritte dettagliatamente nelle tavole 3 e 4.

I micropali previsti per il sostegno provvisorio del 2° e 4° solaio interrato sono complessivamente 102, ciascuno di 23 m di lunghezza, DN 139 mm e spessore 12,5 mm con diametro di perforazione di 220 mm. I gruppi di micropali che formano i pilastri sono opportunamente controventati in modo da funzionare come struttura unica evitando fenomeni d'instabilità.

I tiranti previsti sono 120 ed hanno un diametro di perforazione di 120 mm.

Le travi di fondazione in c.a. hanno rispettivamente sezioni di 4,00 x 1,20 (sostegno della fila di pilastri centrale), 3,50 x 1,20 m (pilastri laterali) e 2,00x0,80 (pilastri delle rampe elicoidali).

I pilastri in c.a. hanno dimensioni in pianta 2,20 x 0,40 m (centrali), 1,60 x 0,40 m (laterali) e 0,80 x 0,30 m (rampe).

Le solette in c.a. hanno uno spessore di 30 cm per i solai da -1 a -5 e di 60 cm per il solaio di copertura, che oltre al terreno di 1,00 m di spessore, deve sostenere carichi equivalenti a quelli previsti per ponti di 1ª categoria.

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

I tiranti, che in fase di scavo contrastano i diaframmi, vengono sostituiti in fase definitiva dai blocchi strutturali formati da muri, solette e pilastri delle rampe, che si oppongono efficacemente a possibili spinte orizzontali.

Lo stesso concetto si può applicare al 2° corpo scala dove il blocco è costituito dai muri, rampe e pianerottoli delle scale.

## **2. NORMATIVA**

- D.M. 14 gennaio 2008 – *Norme Tecniche per le Costruzioni*
- Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*
- UNI EN 1992-1-1:2005 – *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo*
- UNI EN 1997-1-1:2005 – *Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica*
- UNI EN 206-1:2006 – *Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità*
- UNI 11104:2004 - *Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1*

### **3. VERIFICA SOSTEGNO SCAVI**

#### **3.1. Caratteristiche del terreno**

Sulla base delle indicazioni della “Relazione geologica e idrogeologica per il progetto preliminare e per il progetto definitivo e relazione geotecnica per il progetto definitivo” del dott. geol. Mauro Platter del gennaio 2013 sono stati scelti i seguenti parametri per la descrizione del terreno:

- Ghiaia grossolana con ciottoli, trovanti e sabbia:

peso di volume	1900	kg/m <sup>3</sup>
peso di volume saturo	2000	kg/m <sup>3</sup>
Coesione	0	t/m <sup>2</sup>
angolo di attrito	34,5	°
Modulo elastico	65	MPa
Coefficiente di Poisson	0,27	

#### **3.2. Materiali degli elementi di sostegno**

- Diaframmi

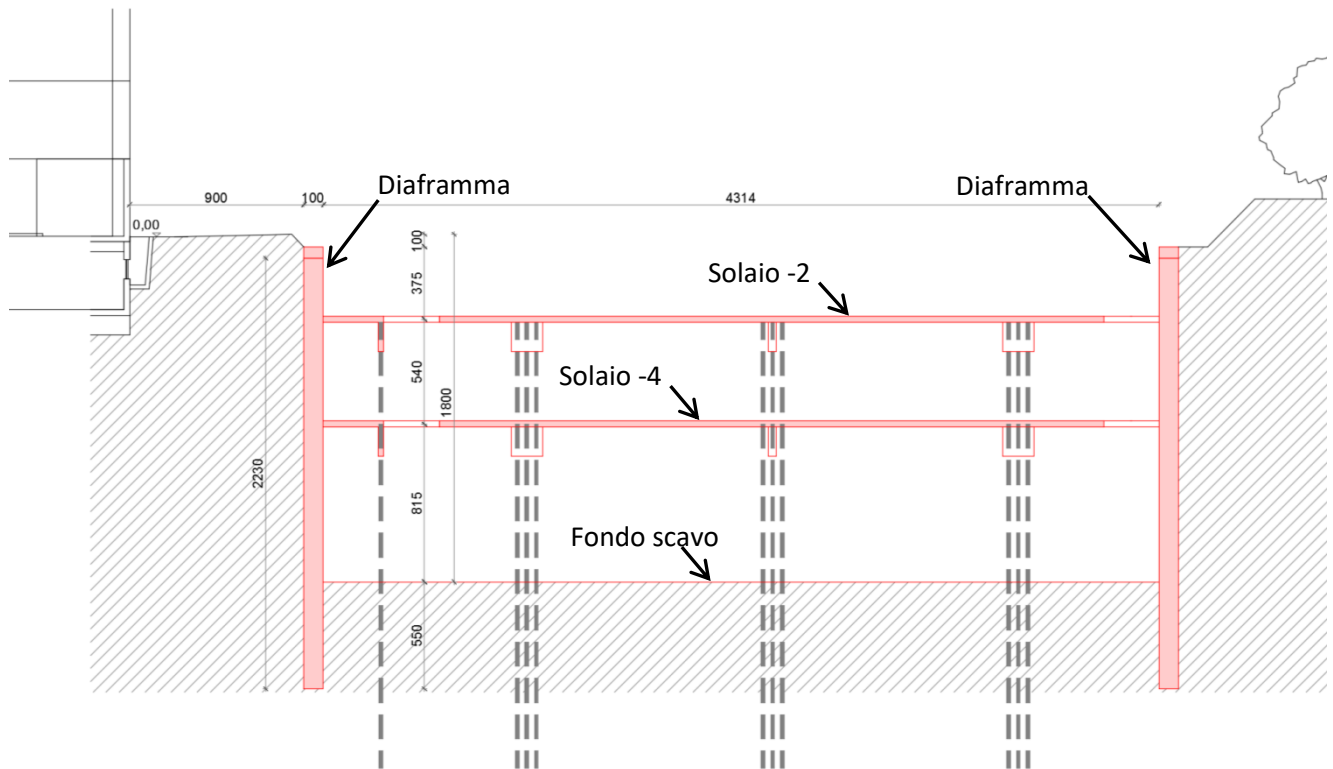
Calcestruzzo armato	C25/30	
Superficie per ml di paratia	1,00	m <sup>2</sup>
Momento di inerzia	0,0833	m <sup>4</sup>
Peso di volume	2500	kg/m <sup>3</sup>
Modulo di Young	31000	MPa

- Solai

Calcestruzzo armato	C32/40	
Superficie per ml di paratia	0,3	m <sup>2</sup>
Momento di inerzia	0,00225	m <sup>4</sup>
Peso di volume	2500	kg/m <sup>3</sup>
Modulo di Young	31000	MPa

### 3.3. Caratteristiche geometrico-statiche

#### SEZIONE TRASVERSALE DELLO SCAVO



Le verifiche sono state effettuate considerando il sostegno lato edifici.

### 3.4. Analisi dei carichi

- Peso del terreno

peso di volume	1900	kg/m <sup>3</sup>
peso di volume saturo	2000	kg/m <sup>3</sup>

- Peso proprio degli elementi strutturali

peso di volume del calcestruzzo armato	2500	kg/m <sup>3</sup>
--	------	-------------------

- Peso dell'edificio

Per l'edificio a circa 10 m di distanza dal bordo scavo sono state effettuate le seguenti considerazioni:  
edificio di 5 piani ed un interrato:

Per l'edificio con un'altezza complessiva di circa 20 m si considera un peso vuoto per pieno della struttura di 500 kg/m<sup>3</sup>.

Come peso accidentale, per ogni piano e per il tetto, a favore della sicurezza si considerano 300 kg/m<sup>2</sup>.

Peso permanente dell'edificio: 10.000 kg/m<sup>2</sup>

Peso accidentale dell'edificio: 2.100 kg/m<sup>2</sup>

Peso totale della struttura: 12.100 kg/m<sup>2</sup>

Il peso del terreno in corrispondenza dell'interrato =  $3,0 \times 1.900 \text{ kg/m}^3 = 5.700 \text{ kg/m}^2$

Il peso da applicare:

$12.100 \text{ kg/m}^2 - 5.700 \text{ kg/m}^2 = 6.400 \text{ kg/m}^2 \approx 7.000 \text{ kg/m}^2$

peso dell'edificio	7.000	kg/m <sup>2</sup>
--------------------	-------	-------------------

- Carico accidentale a monte dello scavo

Peso accidentale bordo scavo	1.000	kg/m <sup>2</sup>
------------------------------	-------	-------------------

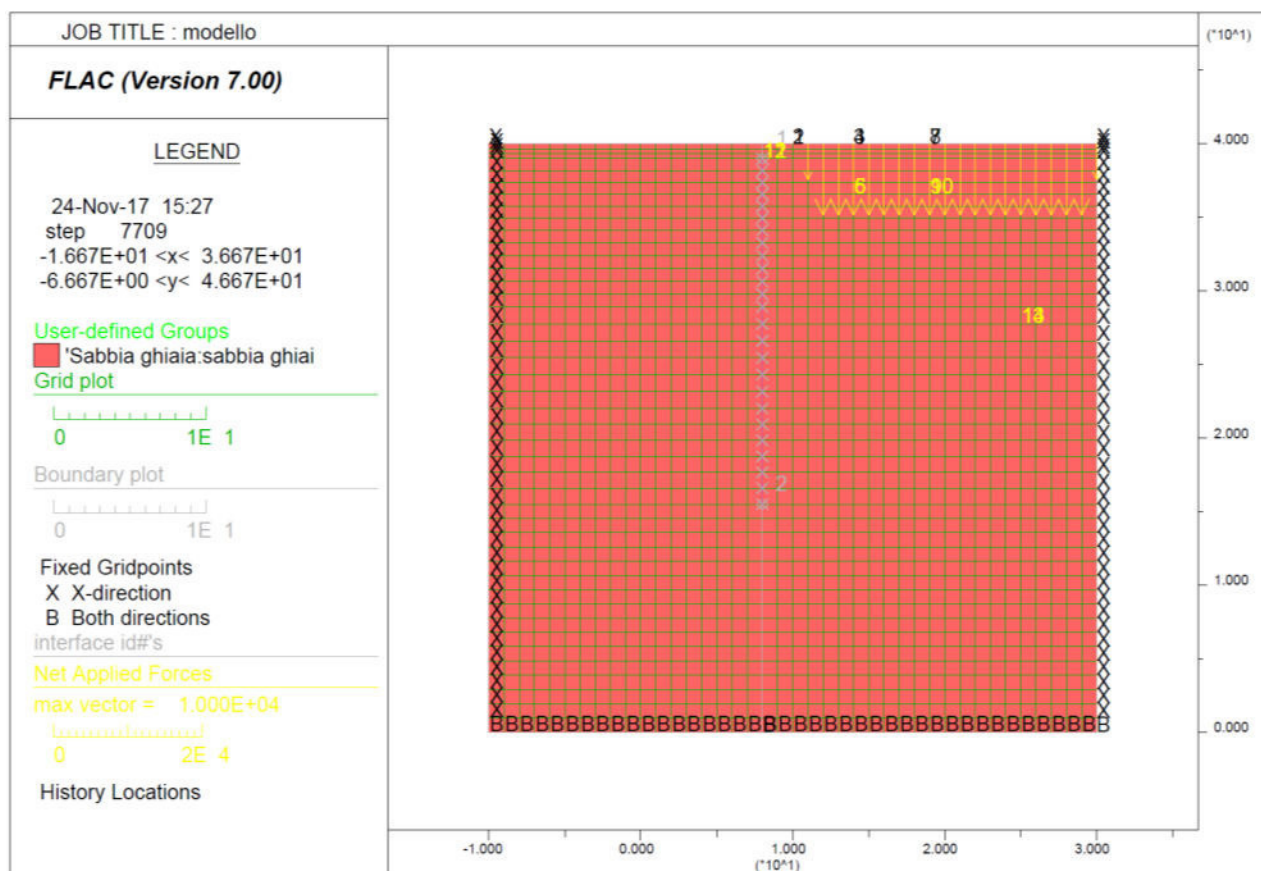
### 3.5. Modello di calcolo

La verifica è stata eseguita mediante un'analisi agli elementi finiti utilizzando il programma FLAC 7, commercializzato dalla Harpaceas S.r.l. di Milano e con il programma PAC 12.10 commercializzato dalla Aztec Informatica S.r.l. di Casali del Manco (CS)

Il modello di calcolo FLAC considera circa metà dello scavo trasversale e 22 m di terreno a monte dello scavo compreso gli edifici a 9 m di distanza.

Nel modello sono stati inseriti dei punti di controllo per verificare gli spostamenti in direzione X ed in direzione Y in:

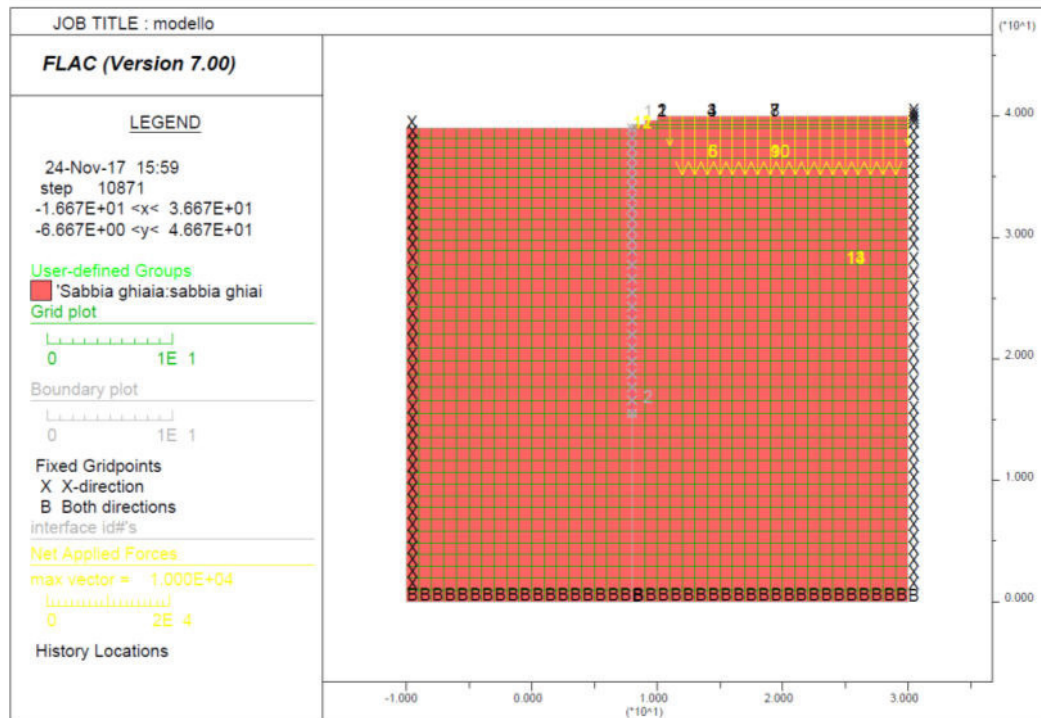
	Spostamento in direzione X	Spostamento in direzione Y
- corrispondenza del limite di scavo	1	2
- davanti ai portici a quota terreno	3	4
- davanti ai portici a quota fondazioni	5	6
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota terreno	7	8
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota fondazioni	9	10



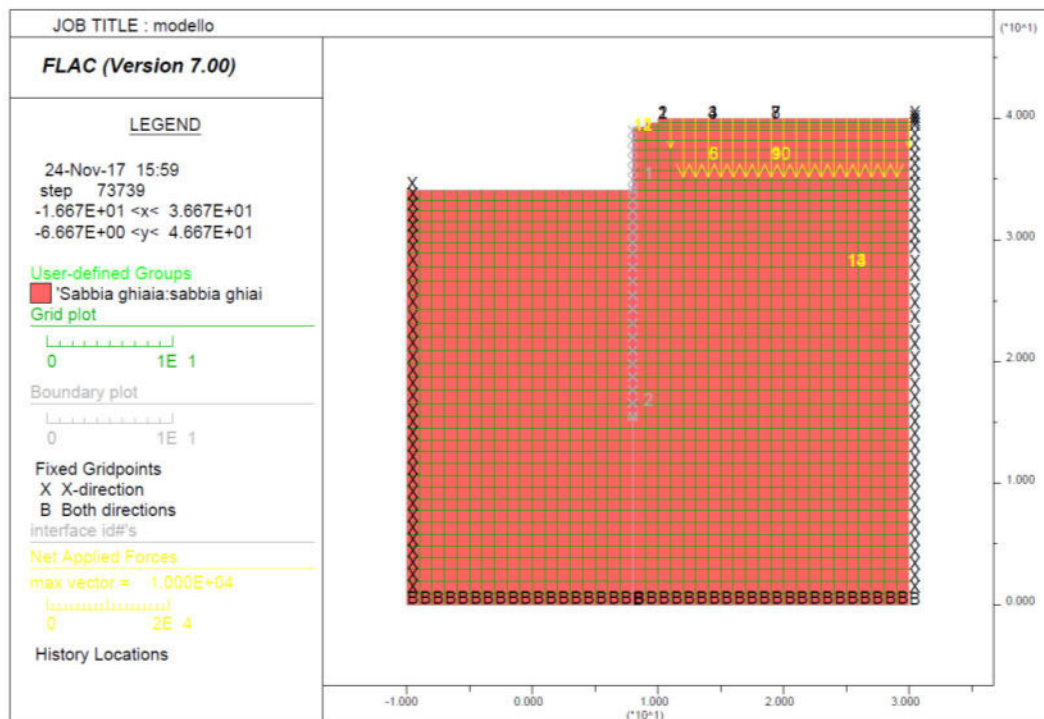
### 3.6. Verifica

La verifica agli elementi finiti consiste in una modellazione numerica di tutte le fasi esecutive dello scavo:

- Fase 1: scavo fino alla quota dei diaframmi e realizzazione diaframmi

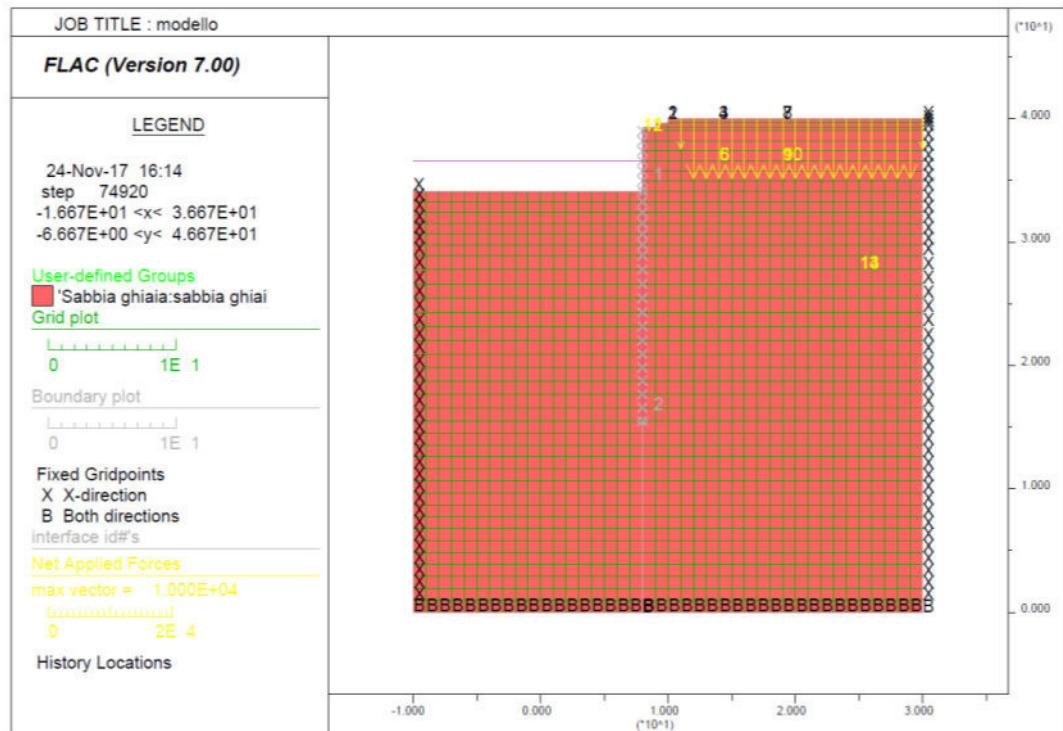


- Fase 2: scavo fino 1,5 m oltre la soletta dell'interrato -2

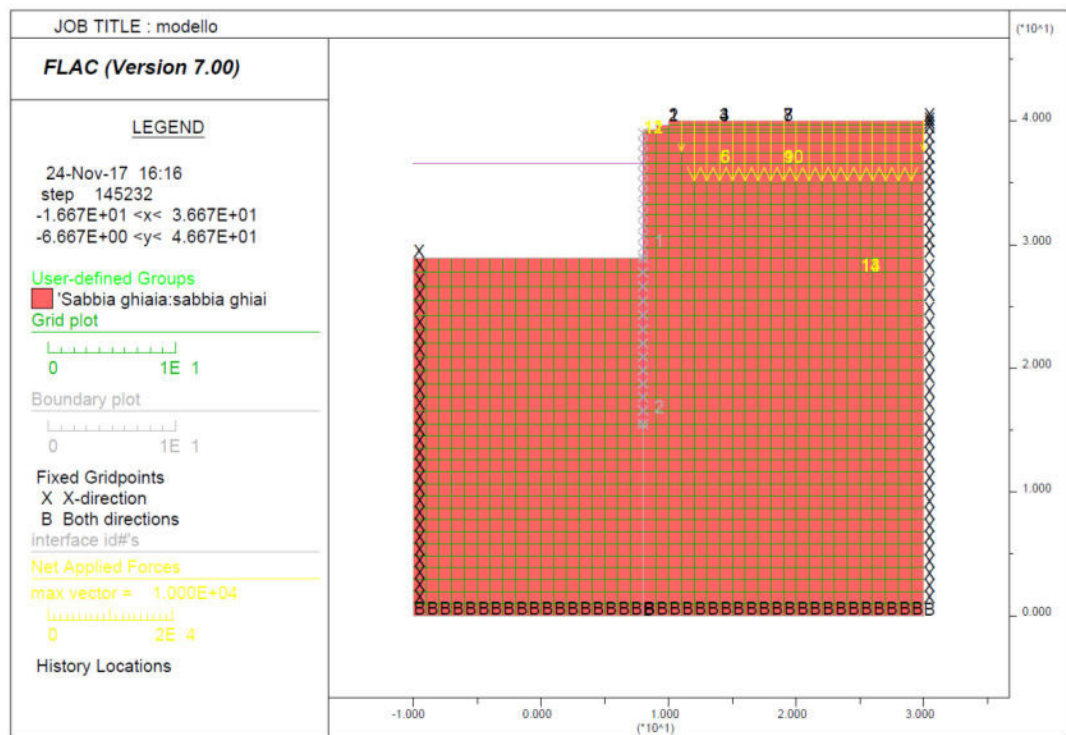


*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

- Fase 3: realizzazione della soletta dell'interrato -2

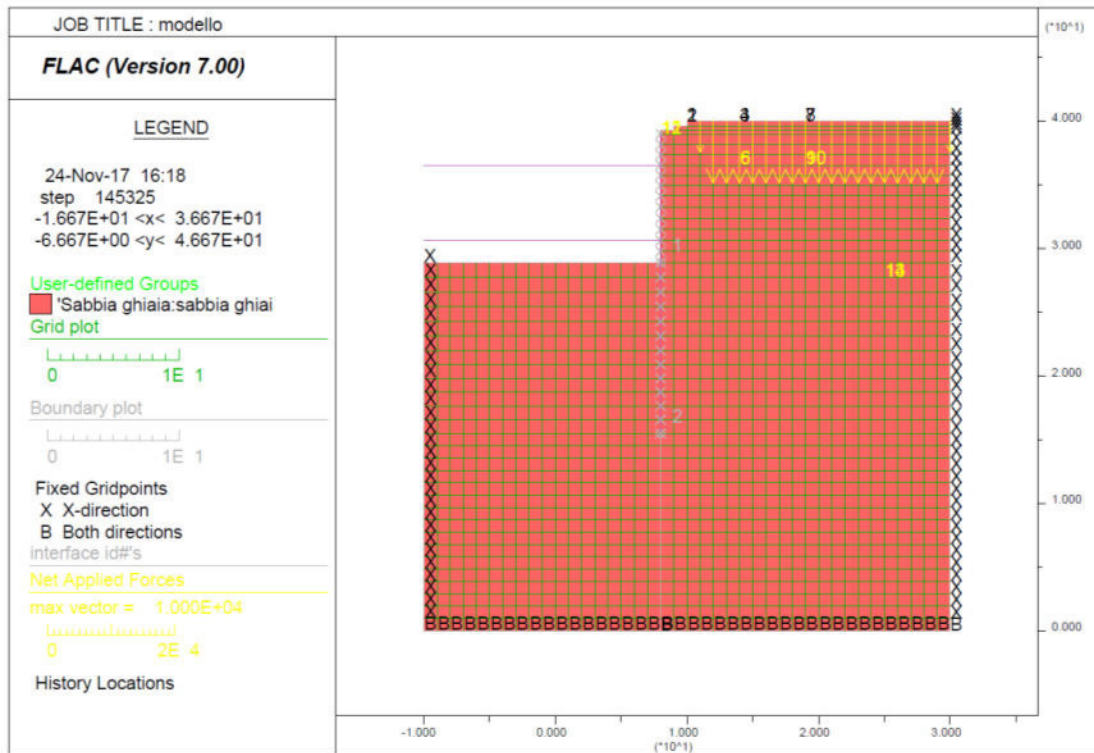


- Fase 4: scavo fino 1,5 m oltre la soletta dell'interrato -4

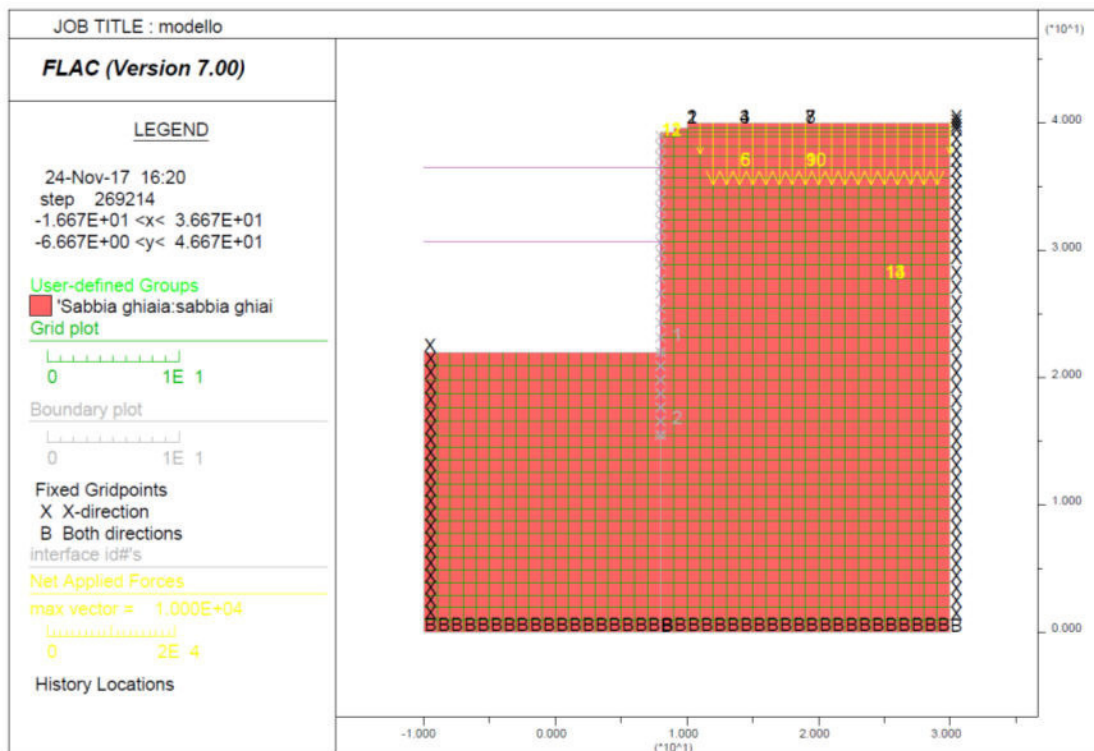


*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

- Fase 5: realizzazione della soletta dell'interrato -4

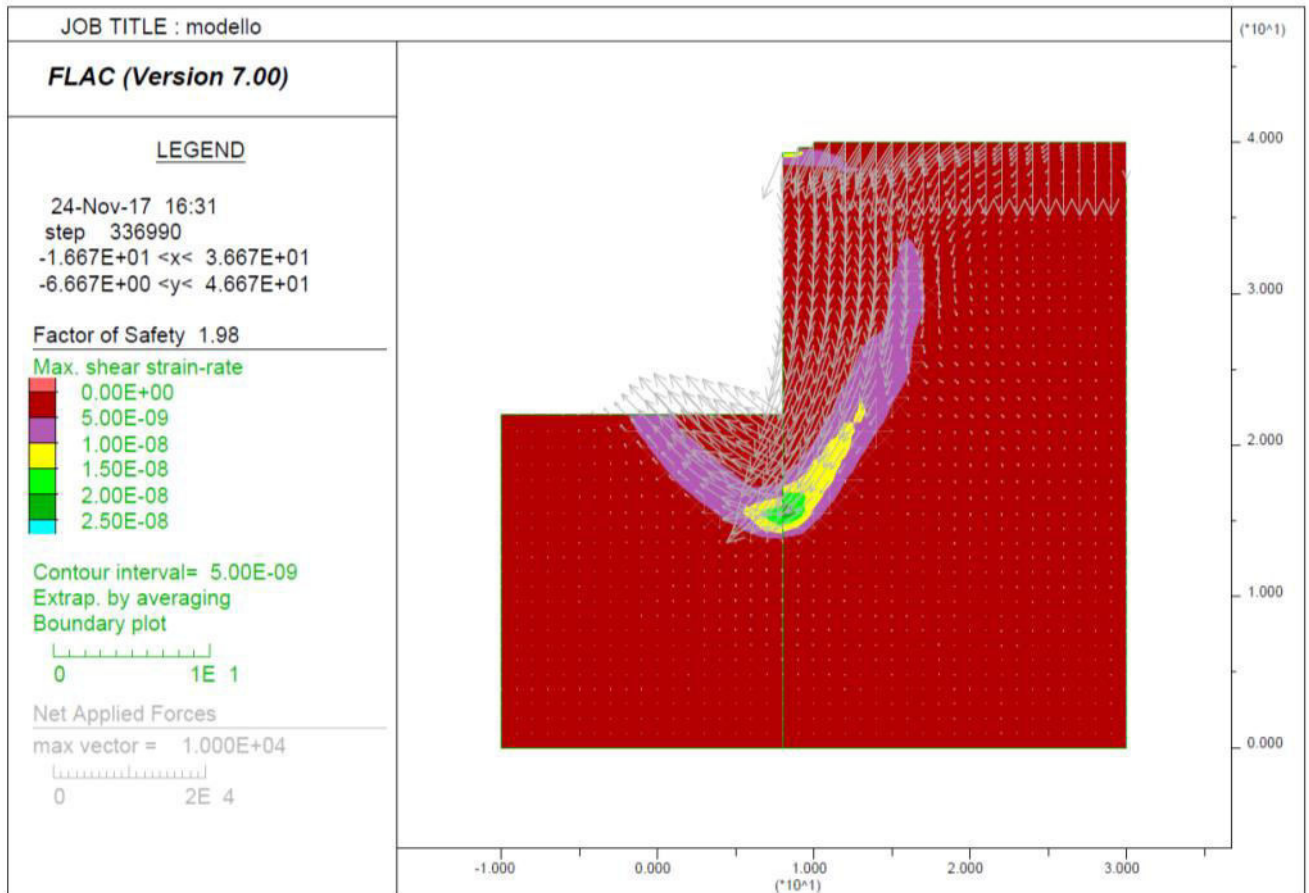


- Fase 6: scavo fino alla quota delle fondazioni



### 3.7. Stabilità globale della paratia

La paratia, applicando valori caratteristici sia sulle caratteristiche del terreno, sia sui carichi applicati, risulta stabile. Il fattore di sicurezza raggiunto è pari a: 1,98.

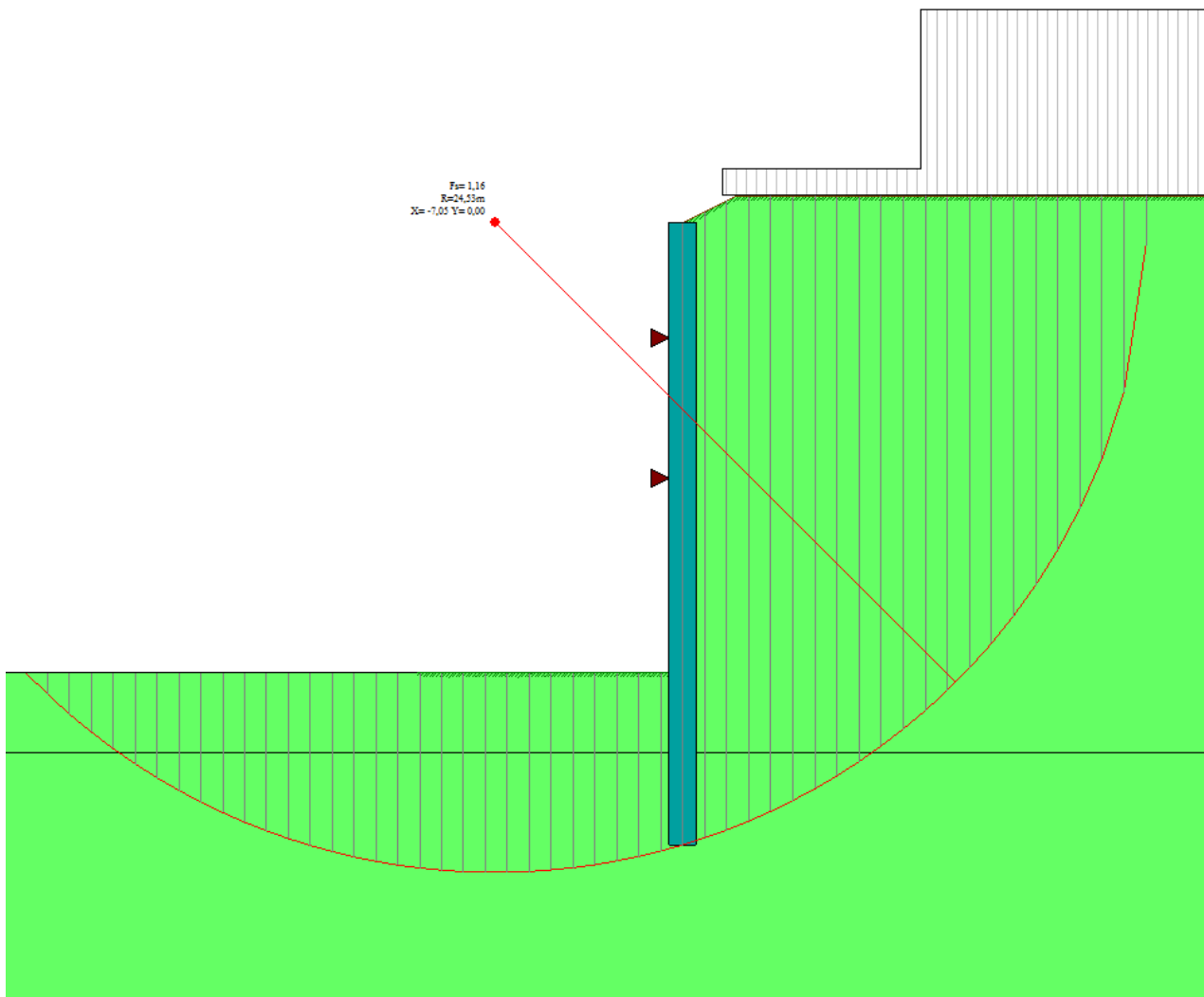


*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

La verifica di stabilità globale eseguita con il programma PAC 12.10 risulta soddisfatta:

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia-terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10.

È stata usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare. In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.



**Stabilità globale**

Raggio del cerchio critico	$R = 24,53 \text{ [m]}$
Centro del cerchio critico	$(-7,05; 0,00)$
Intersezione cerchio-pendio a valle	$(-24,75; -16,99)$
Intersezione cerchio-pendio a monte	$(17,47; -0,86)$
Fattore di sicurezza	$FS = 1.22$

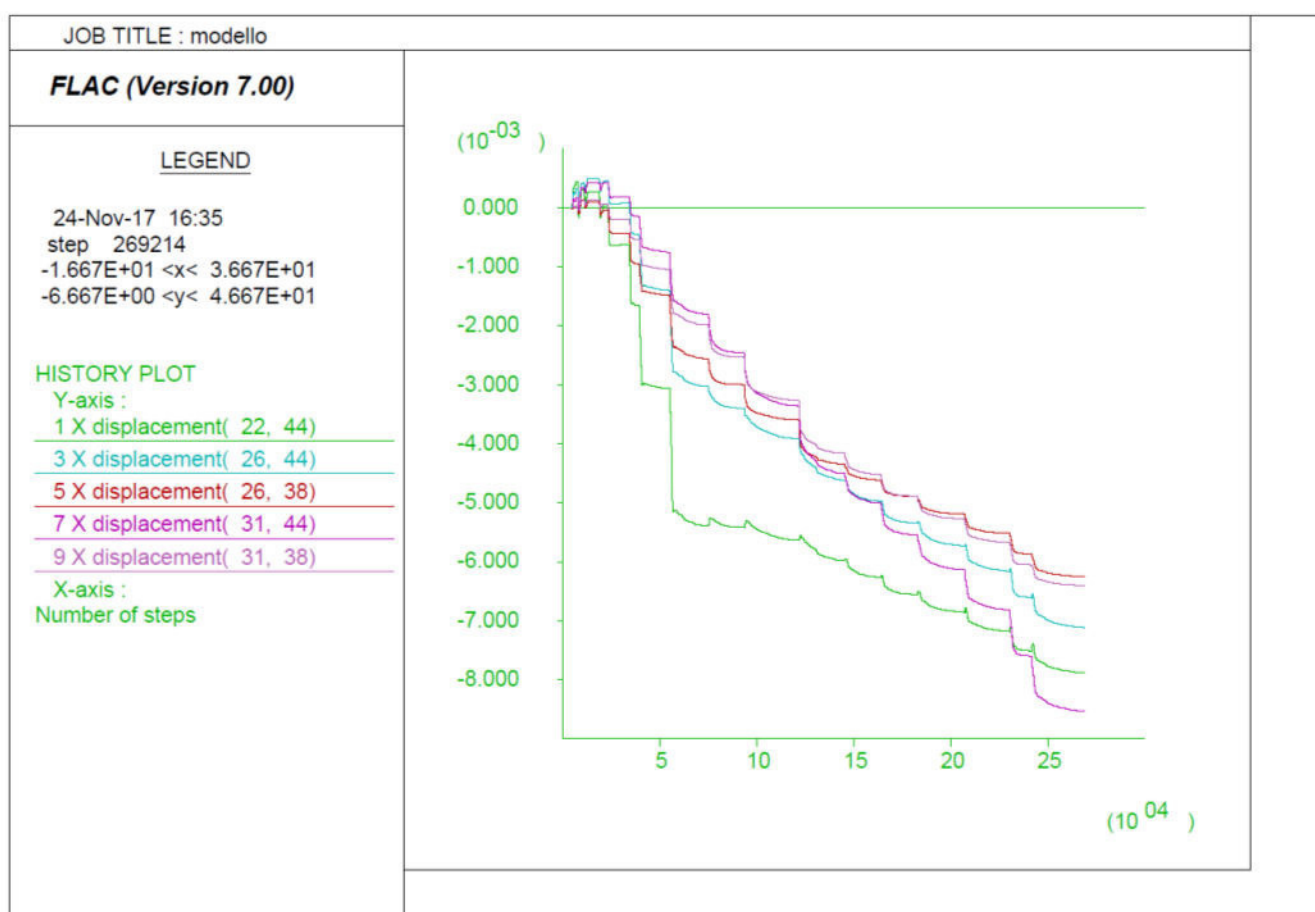
### 3.8. Spostamenti

Gli spostamenti dei punti di controllo, verificati con il programma ad elementi finiti FLAC, in direzione X ed in direzione Y:

	Spostamento in direzione X	Spostamento in direzione Y
- corrispondenza del limite di scavo	1	2
- davanti ai portici a quota terreno	3	4
- davanti ai portici a quota fondazioni	5	6
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota terreno	7	8
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota fondazioni	9	10

sono i seguenti:

- In direzione X

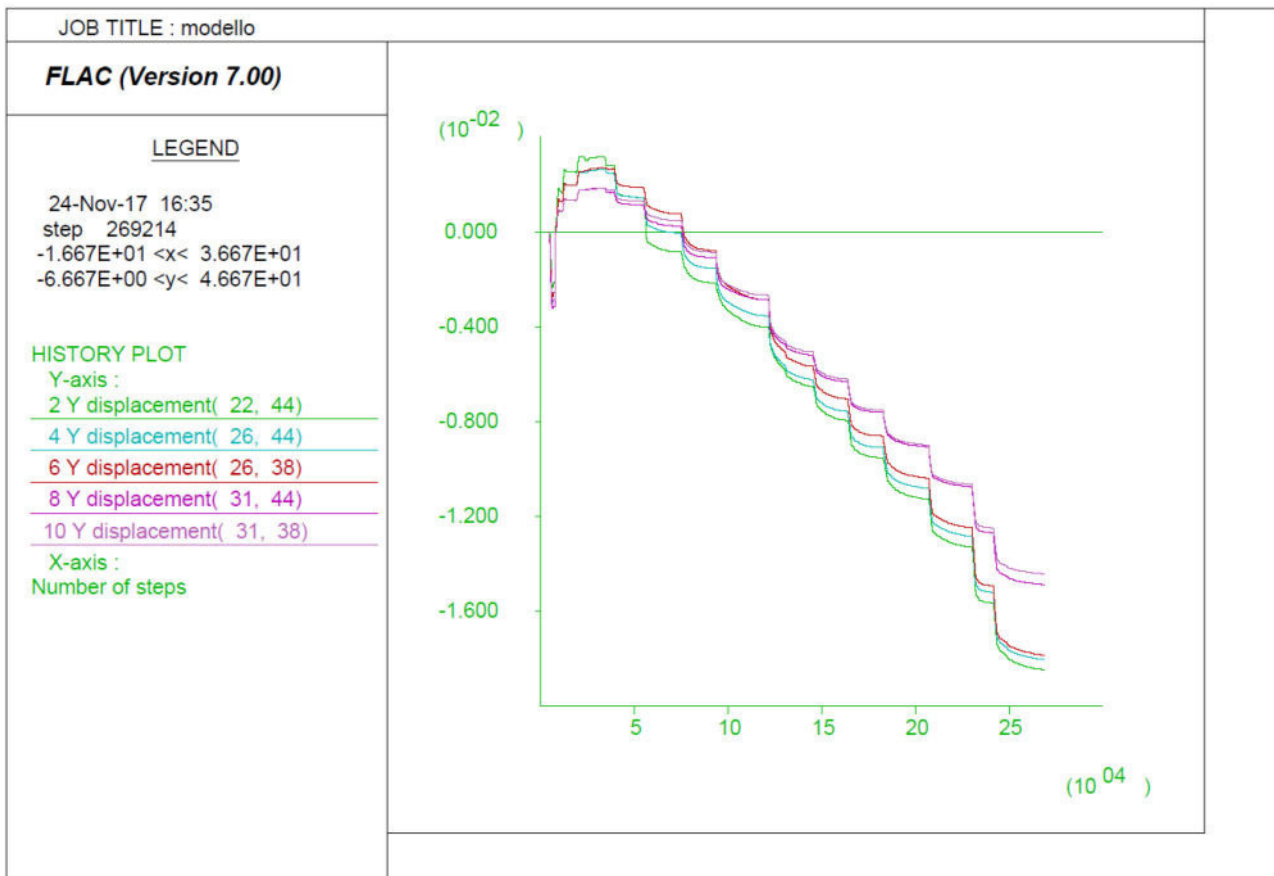


Spostamenti massimi in direzione X

	Spostamento in direzione X	mm
- corrispondenza del limite di scavo	1	7,5
- davanti ai portici a quota terreno	3	6,8
- davanti ai portici a quota fondazioni	5	6,0
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota terreno	7	8,6
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota fondazioni	9	6,2

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

- In direzione Y

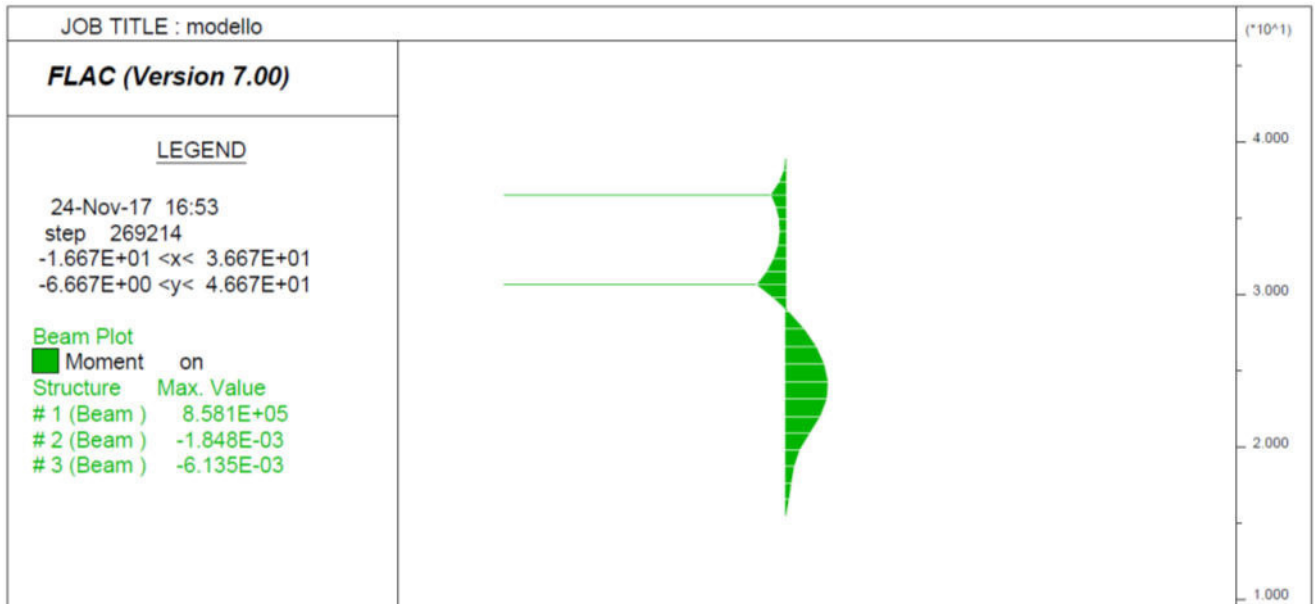


Spostamenti massimi in direzione Y

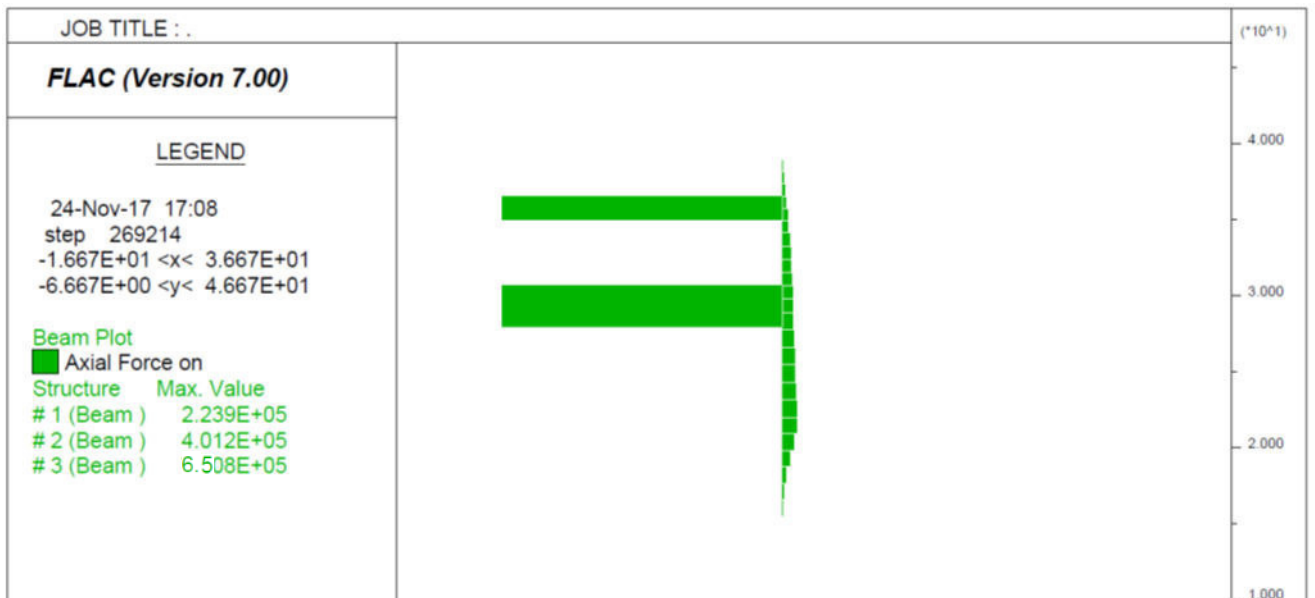
	Spostamento in direzione Y	mm
- corrispondenza del limite di scavo	2	18,5
- davanti ai portici a quota terreno	4	18,0
- davanti ai portici a quota fondazioni	6	17,8
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota terreno	8	14,9
- in corrispondenza dei muri esterni dell'edificio a quota fondazioni	10	14,4

### 3.9. Sollecitazioni su solai e diaframmi

Di seguito si riportano sotto forma grafica le sollecitazioni più significative verificate con il programma ad elementi finiti FLAC:

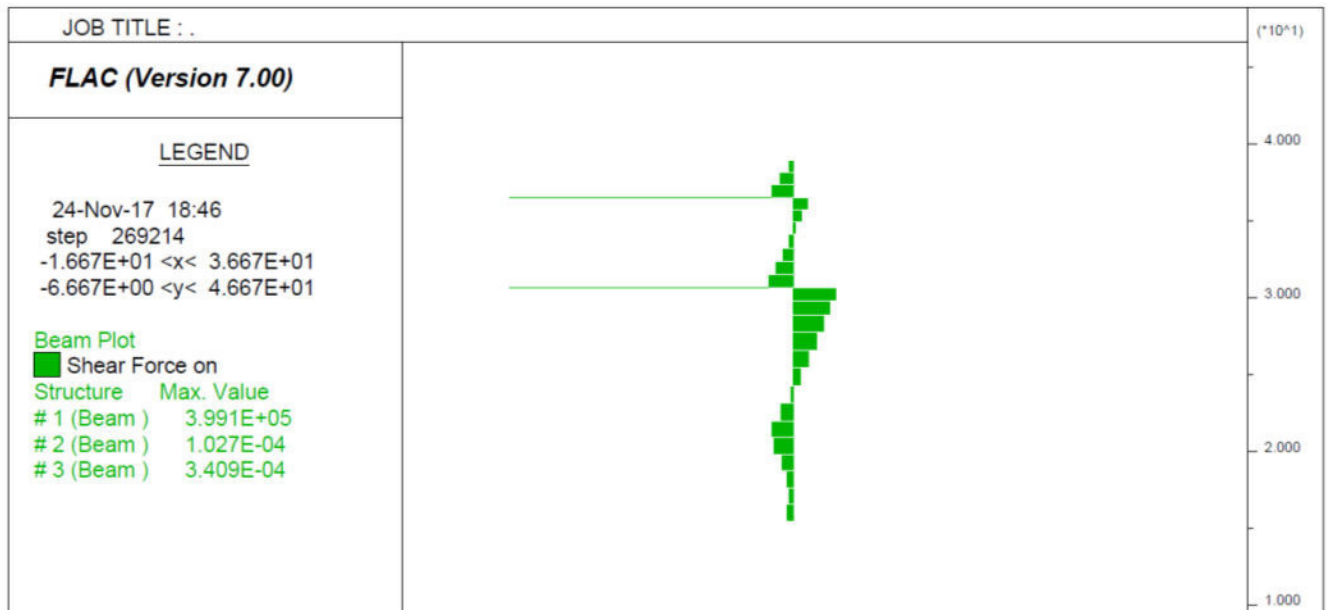


Momenti flettenti



Sforzo normale

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

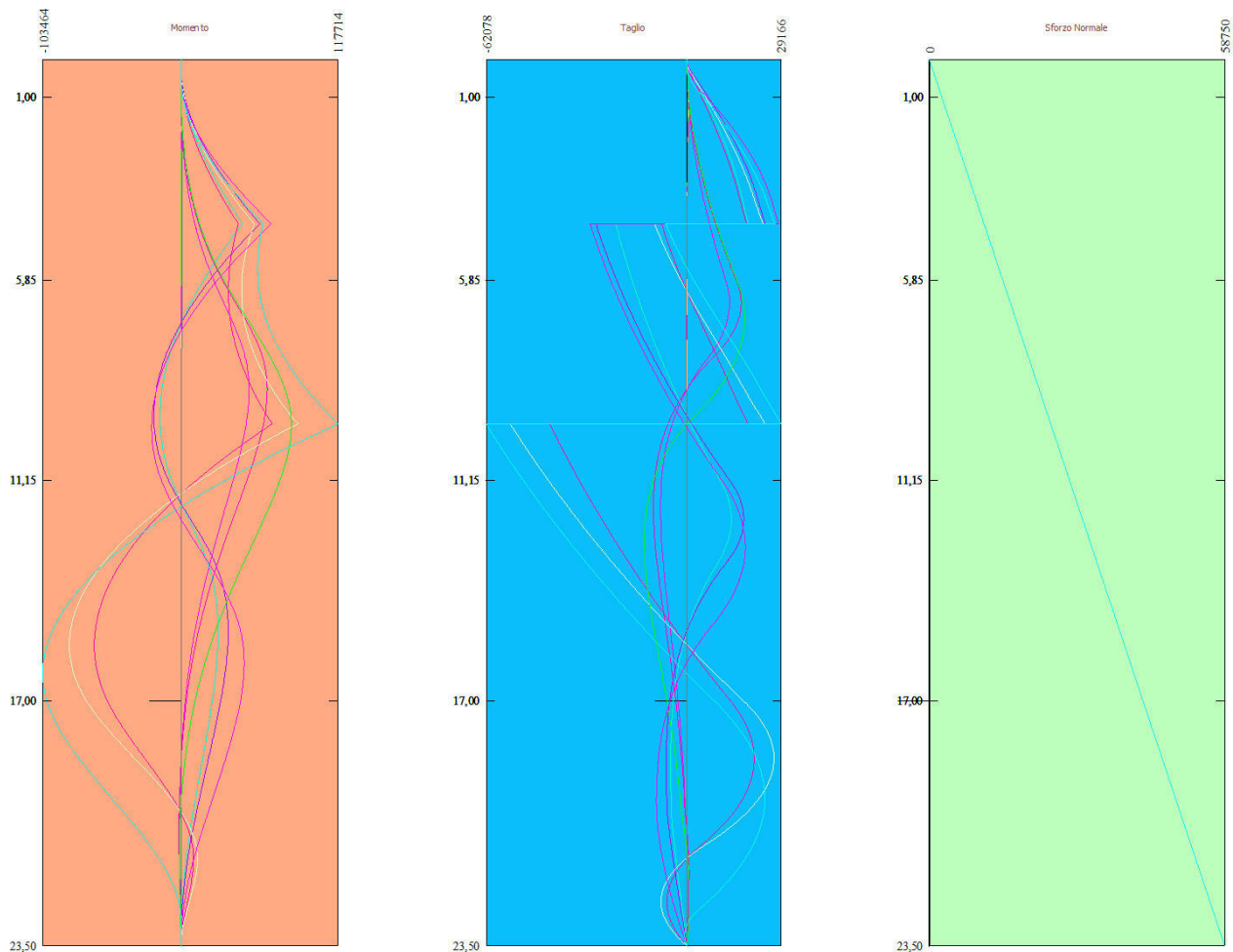


Taglio

*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

Per la verifica strutturale dei diaframmi è stato utilizzato il programma PAC 12.10.

Di seguito si riportano sotto forma grafica le sollecitazioni più significative verificate con il programma PAC 12.10.



Risultati vincoli (solette di contrasto)

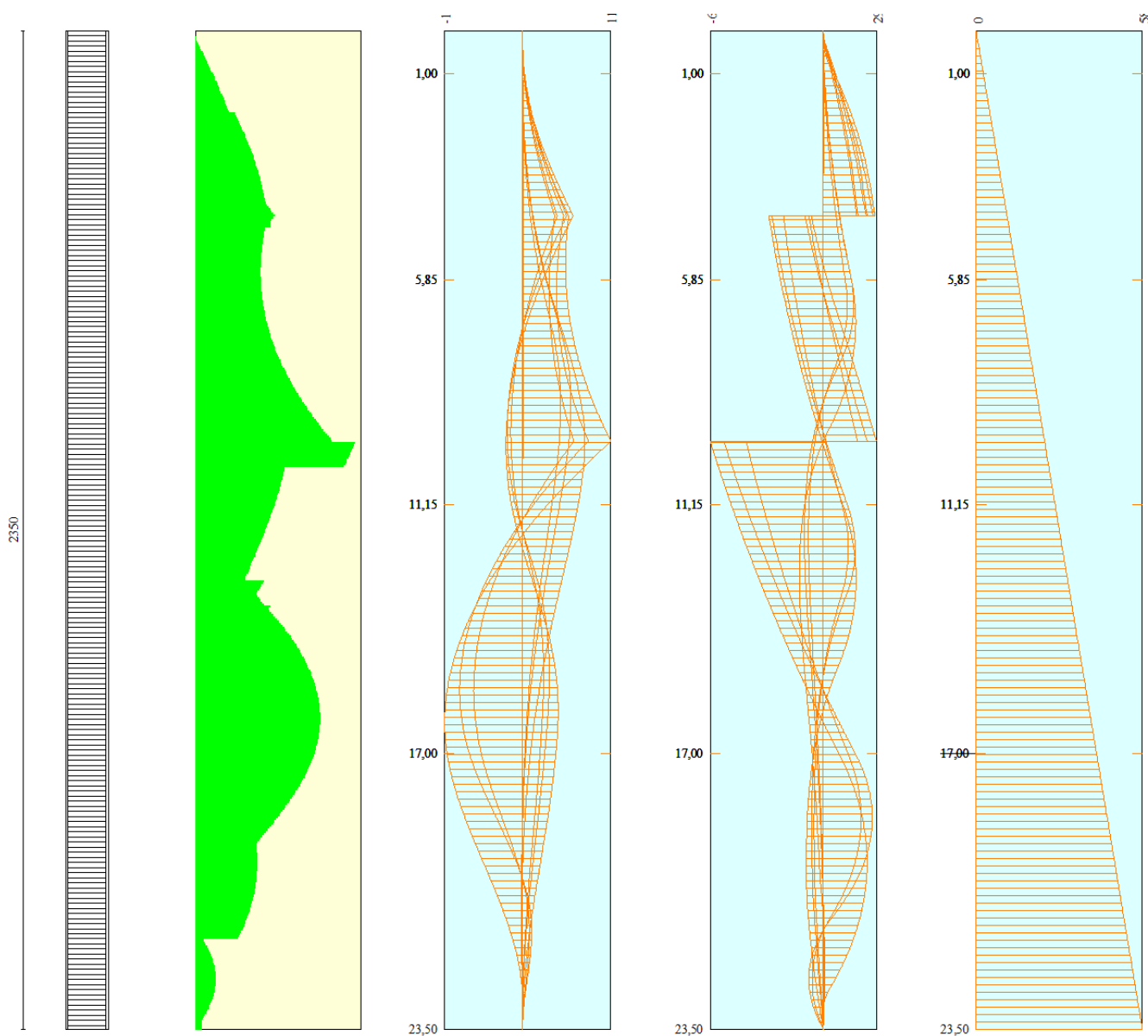
Soletta interrato -2:	58.235 kg (SLU)	41.596 kg (SLE)
Soletta interrato -4:	91.244 kg (SLU)	65.174 kg (SLE)

### 3.10. Verifica strutturale diaframmi

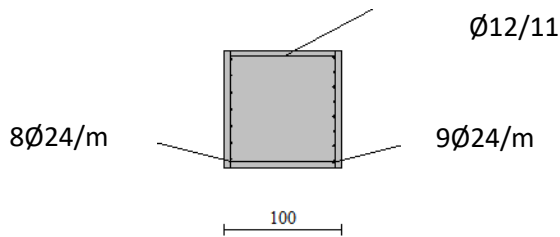
L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica non-lineare, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.



*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



Armatura per ml di diaframma

**Verifica a SLU \* Diagrammi M-N delle sezioni**

Di seguito sono riportati per ogni tratto di armatura i diagrammi di interazione Mu-Nu della sezione; sono stati calcolati 16 punti per ogni sezione analizzata.

Per la costruzione dei diagrammi limiti si sono assunti i seguenti valori:

Tensione caratteristica cubica del cls	$R_{bk} = 306 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
Tensione caratteristica cilindrica del cls ( $0.83 \times R_{bk}$ )	$R_{ck} = 254 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Fattore di riduzione per carico di lunga permanenza	$\psi = 0.85$
Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio	$f_{yk} = 4589 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
Coefficiente di sicurezza cls	$\gamma_c = 1.50$
Coefficiente di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo del cls ( $\psi R_{ck} / \gamma_c$ )	$R_c^* = 144 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Resistenza di calcolo dell'acciaio ( $f_{yk} / \gamma_s$ )	$R_s^* = 3990 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s = 2100000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Deformazione ultima del calcestruzzo	$\epsilon_{cu} = 0.0035 \text{ (0.35\%)}$
Deformazione del calcestruzzo al limite elastoplastico	$\epsilon_{ck} = 0.0020 \text{ (0.20\%)}$
Deformazione ultima dell'acciaio	$\epsilon_{yu} = 0.0100 \text{ (1.00\%)}$
Deformazione dell'acciaio al limite elastico ( $R_s^* / E_s$ )	$\epsilon_{yk} = 0.0015 \text{ (0.19\%)}$

**Legame costitutivo del calcestruzzo**

Per il legame costitutivo del calcestruzzo si assume il diagramma parabola-rettangolo espresso dalle seguenti relazioni:

*Tratto parabolico:*  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{ck}$

$$\sigma_c = \frac{R_c^* (2\epsilon_c \epsilon_{ck} - \epsilon_c^2)}{\epsilon_{ck}^2}$$

*Tratto rettangolare:*  $\epsilon_{ck} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$

$$\sigma_c = R_c^*$$

**Legame costitutivo dell'acciaio**

Per l'acciaio si assume un comportamento elastico-perfettamente plastico espresso dalle seguenti relazioni:

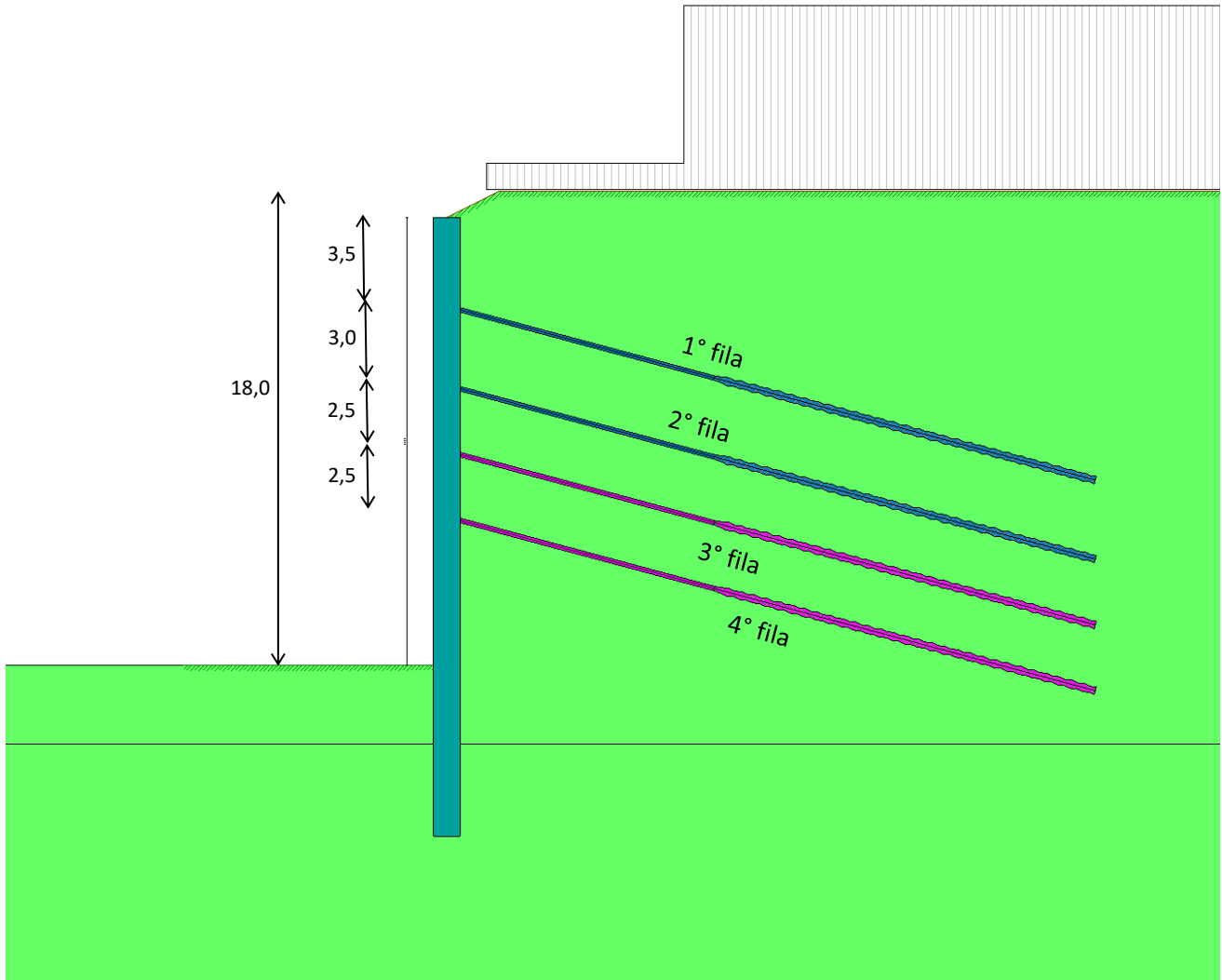
$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad \text{per } 0 \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sy}$$

$$\sigma_s = R_s^* \quad \text{per } \epsilon_{sy} < \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$$

### 3.11. Verifica della paratia tirantata

La verifica della paratia tirantata è stata eseguita con il programma PAC 12.10

Nella zona delle due rampe elicoidali e per il secondo corpo scala, i diaframmi devono essere contrastati con 4 tiranti a 4-6 trefoli in acciaio per c.a. precompresso della lunghezza di 25,00 m, di cui 10 m connessi, con passo orizzontale di 2,60 m e passo verticale di 4,00 m.



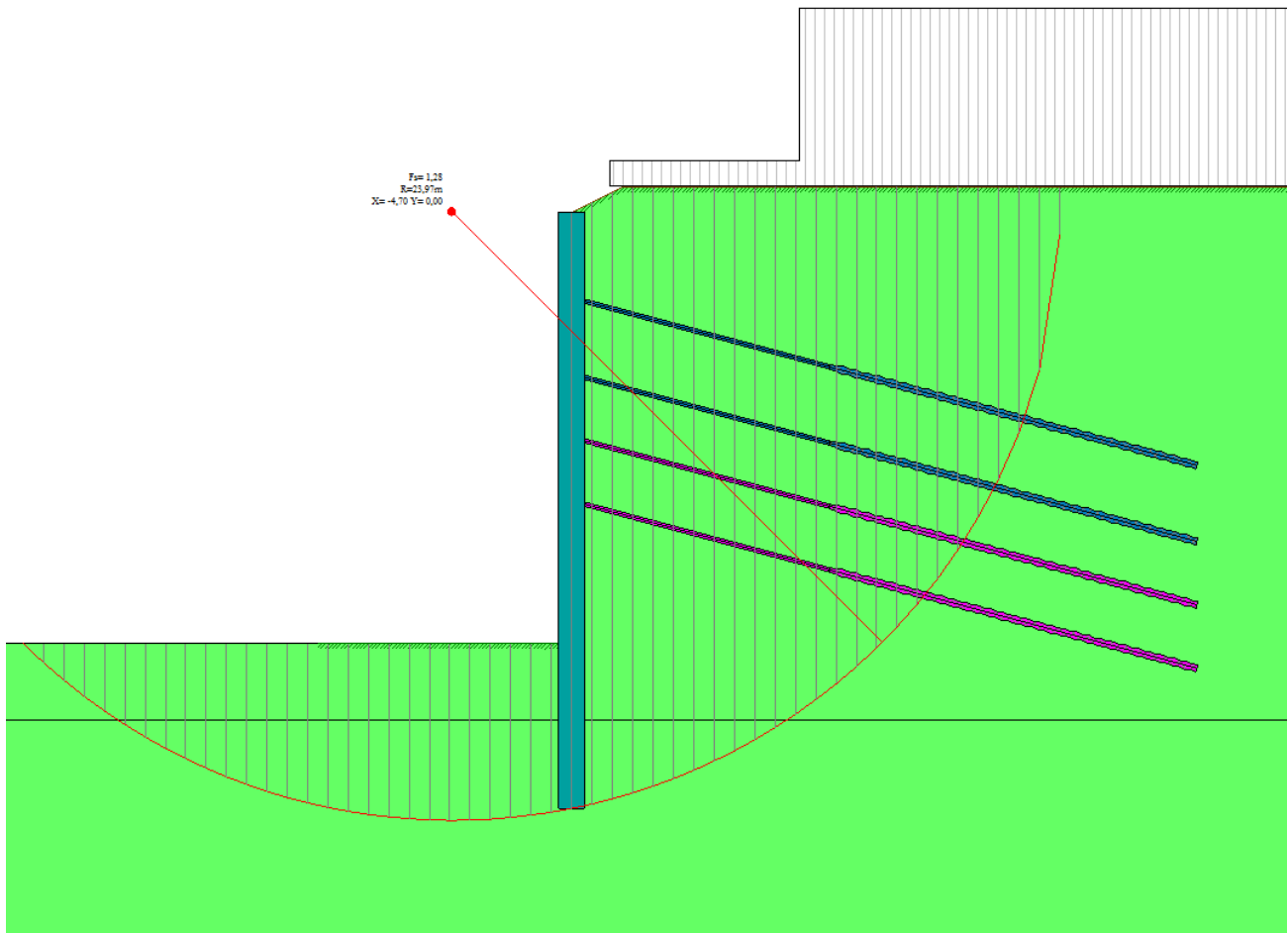
Per ogni diaframma si prevedono 4 tiranti

fila	lunghezza	L bulbo	Ø perfor.	inclin.	N° trefoli	preten- sione	interasse
1	25 m	15 m	120	15°	4	40 ton	2,6 m
2	25 m	15 m	120	15°	4	50 ton	2,6 m
3	25 m	15 m	160	15°	6	75 ton	2,6 m
4	25 m	15 m	160	15°	6	75 ton	2,6 m

*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

### 3.11.1. Stabilità globale

La stabilità globale è verificata – il fattore di sicurezza minimo è uguale a 1,28



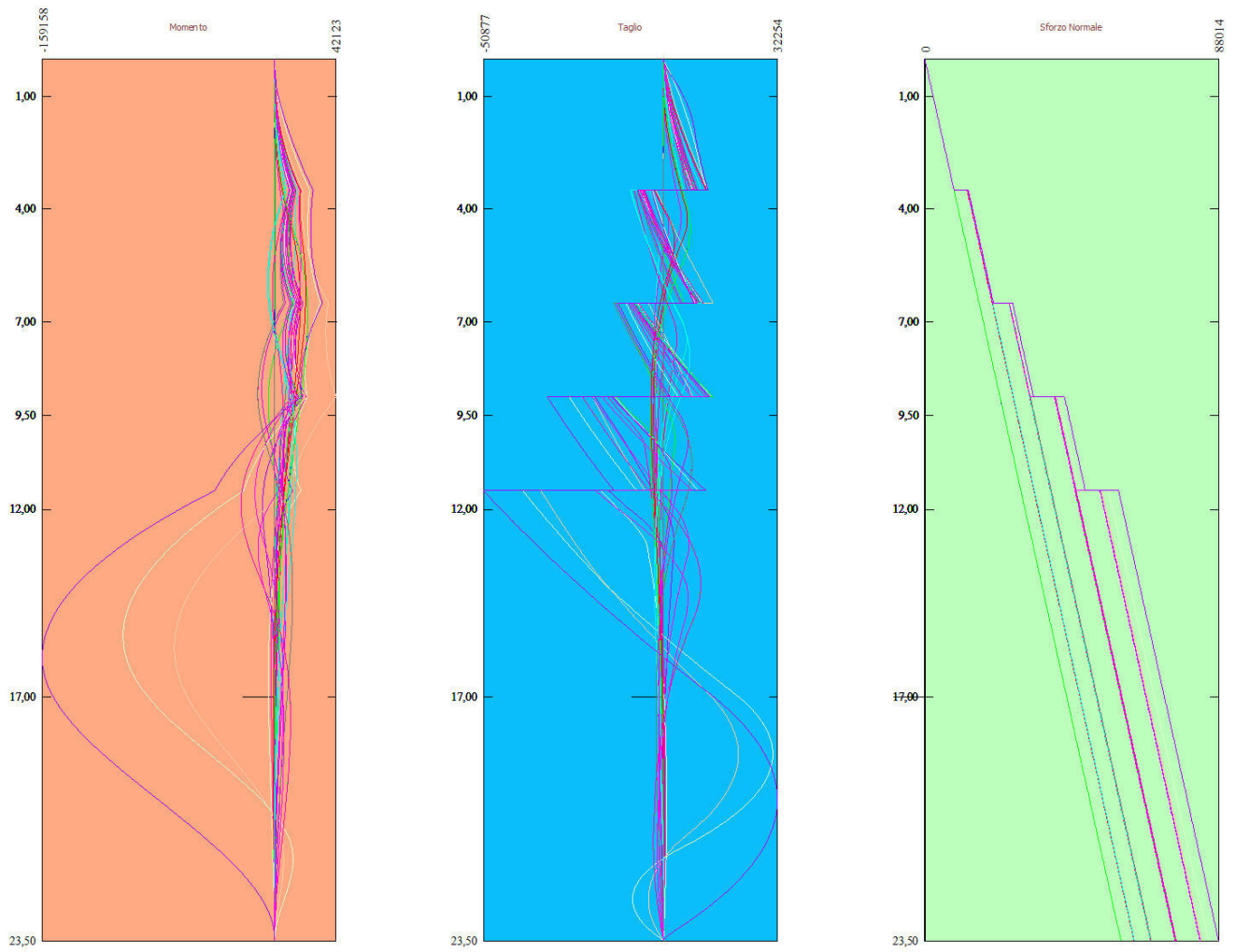
Risultati Tiranti



	Y [m]	nt	N [kg]	L [m]	Lf [m]	sf [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs
•	3,50	19	43708	25,00	15,00	7284,72	3,57
	6,50	19	58392	25,00	15,00	9732,04	2,78
	9,00	19	94555	25,00	15,00	10506,15	1,76
	11,50	19	100889	25,00	15,00	11209,88	1,69

*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

**3.11.2. Sollecitazioni diaframmi**



## **4. SOLAIO DI COPERTURA**

Il solaio di copertura è formato da una piastra rettangolare in c.a. dello spessore di 0,60 m. È sostenuto internamente da 3 file orizzontali di pilastri rettangolari, mentre ai bordi è appoggiato ai diaframmi perimetrali.

Su di esso gravano oltre al peso proprio, il peso del terreno di copertura (spessore 1,0 m) e i carichi dovuti al transito veicolare sulla piazza sovrastante.

Non è soggetto ad azioni nel piano trasmesse

### **4.1. Materiali**

Vita nominale: 50 anni (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale)

#### **4.1.1. Calcestruzzo**

Classe di resistenza:	C32/40
Classe di esposizione:	XF2
Resistenza caratteristica a compressione:	$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente di Poisson:	$\nu = 0,12$
Peso per unità di volume:	$25,00 \text{ kN/m}^3$
Copriferro:	$c = 40 \text{ mm}$

#### **4.1.2. Acciaio per cemento armato**

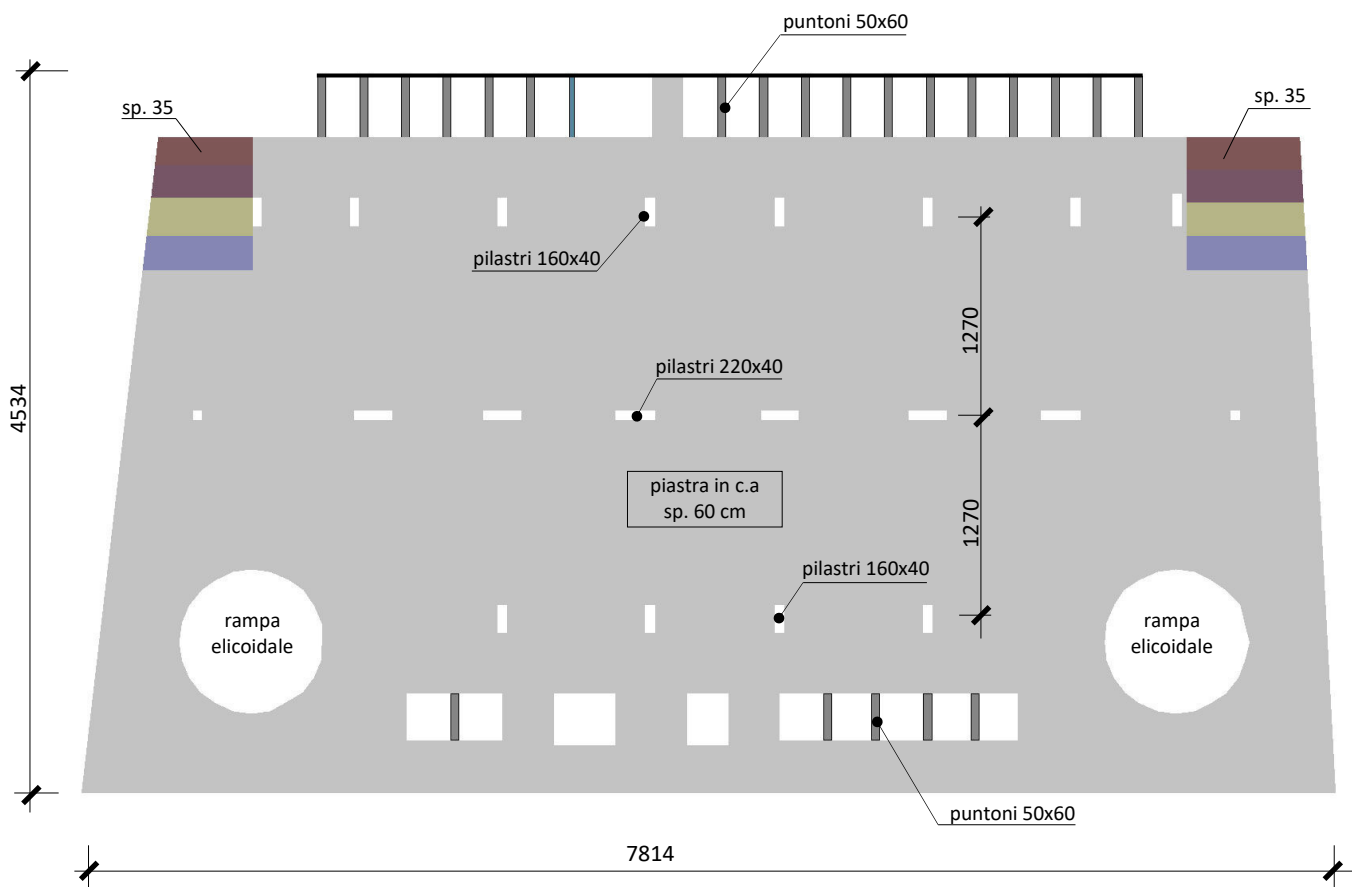
Acciaio in barre:	B450C
Resistenza caratteristica a trazione:	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

## 4.2. Caratteristiche geometrico-statiche

### 4.2.1. Pianta

Spessore costante della soletta:	0,60 m
Spessore variabile:	0,35/0,60 m
Lunghezza massima	78,14 m
Larghezza massima	45,34 m



I colori della figura si riferiscono a diversi spessori della lastra.

### 4.3. Analisi dei carichi e casi elementari

#### 4.3.1. Peso proprio della struttura in c.a. – LC1

$$g_1 = 0,60 \times 25,0 = 15,00 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.3.2. Azioni variabili verticali – LC2

Il traffico stradale viene assimilato a un carico uniformemente distribuito di  $20,0 \text{ kN/m}^2$ . In questa fase preliminare il carico si considera esteso a tutta l'area del solaio, senza tenere conto di eventuali parzializzazioni di campata.

$$q_1 = 20,00 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.3.3. Carichi permanenti portati – LC3

Spessore dello strato di terreno portato =  $1,0 \text{ m}$

Peso per unità di volume del terreno =  $20,0 \text{ kN/m}^3$

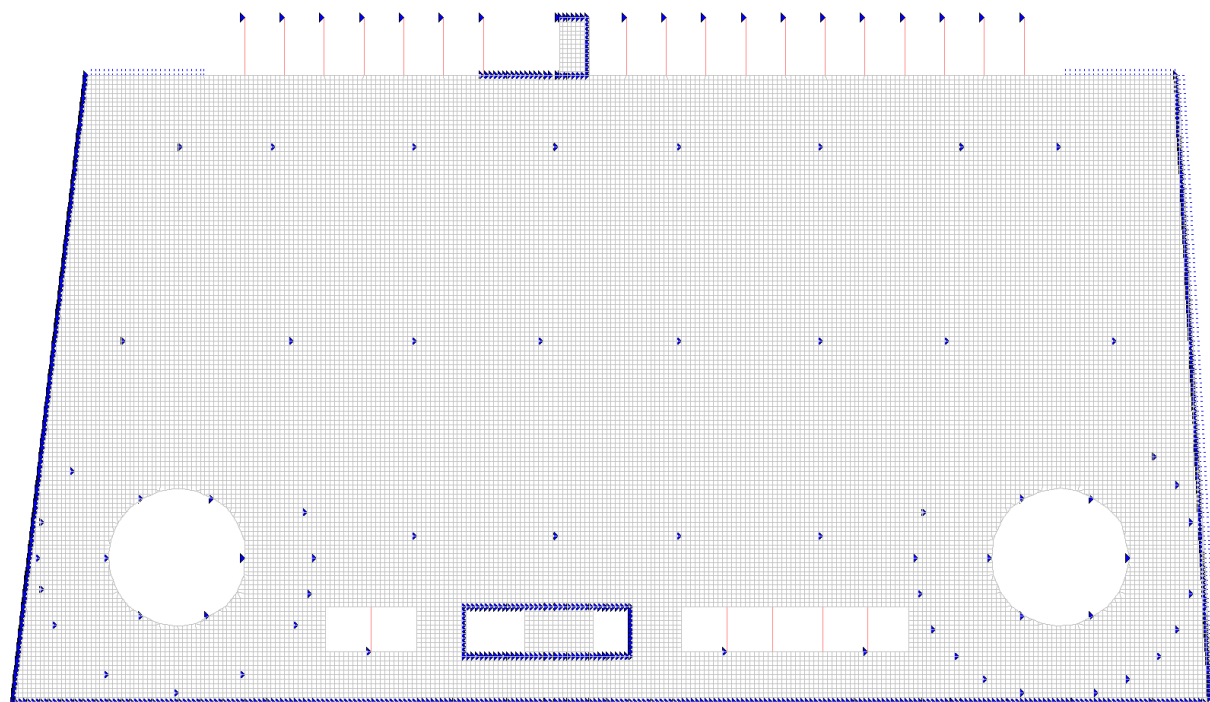
$$g_2 = 1,00 \times 20,00 = 20,00 \text{ kN/m}^2$$

### 4.4. Modello di calcolo

La struttura è stata risolta mediante un'analisi agli elementi finiti dopo averla trasformata in un modello composto da elementi lastra a comportamento flessionale e membranale ("*plate*") di dimensioni medie  $30 \times 30 \text{ cm}$  e da elementi trave monodimensionali ("*beam*") per simulare i puntoni.

I pilastri sono stati schematizzati attraverso vincoli verticali puntiformi infinitamente rigidi. Nello stesso modo sono stati trattate le pareti cilindriche che delimitano le rampe elicoidali.

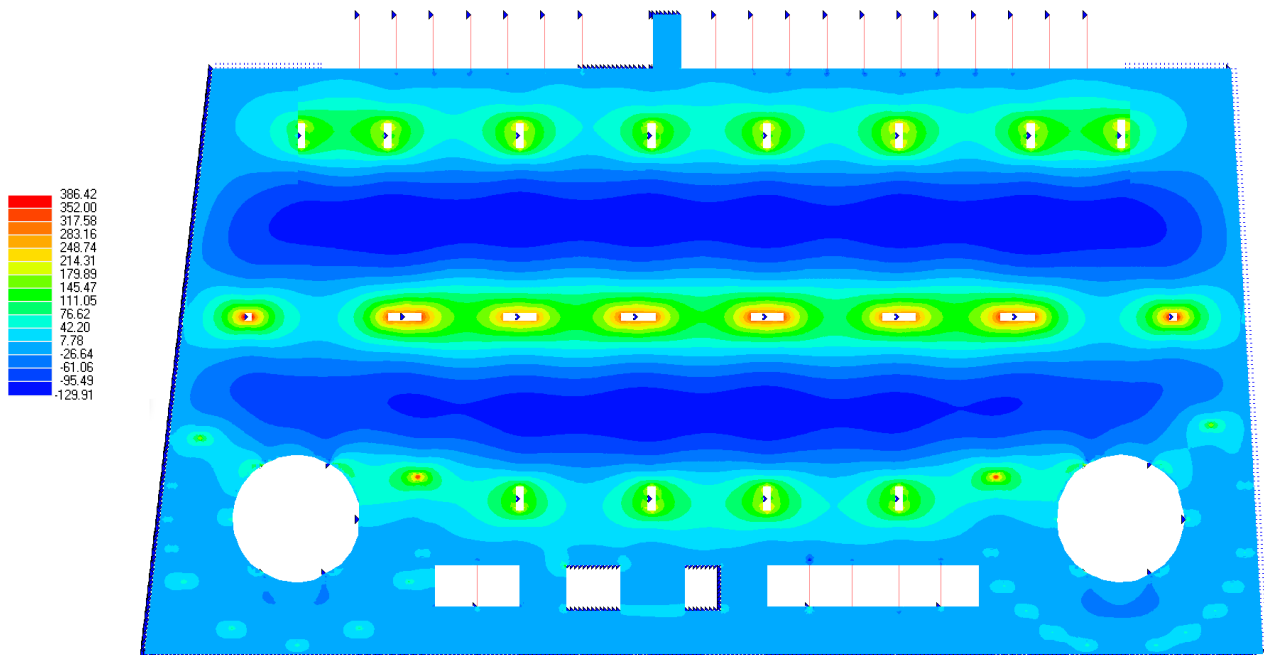
Il software utilizzato è il codice *Pro\_Sap rel. 17.2.2* prodotto e commercializzato dalla Società 2S.I. di Ferrara.



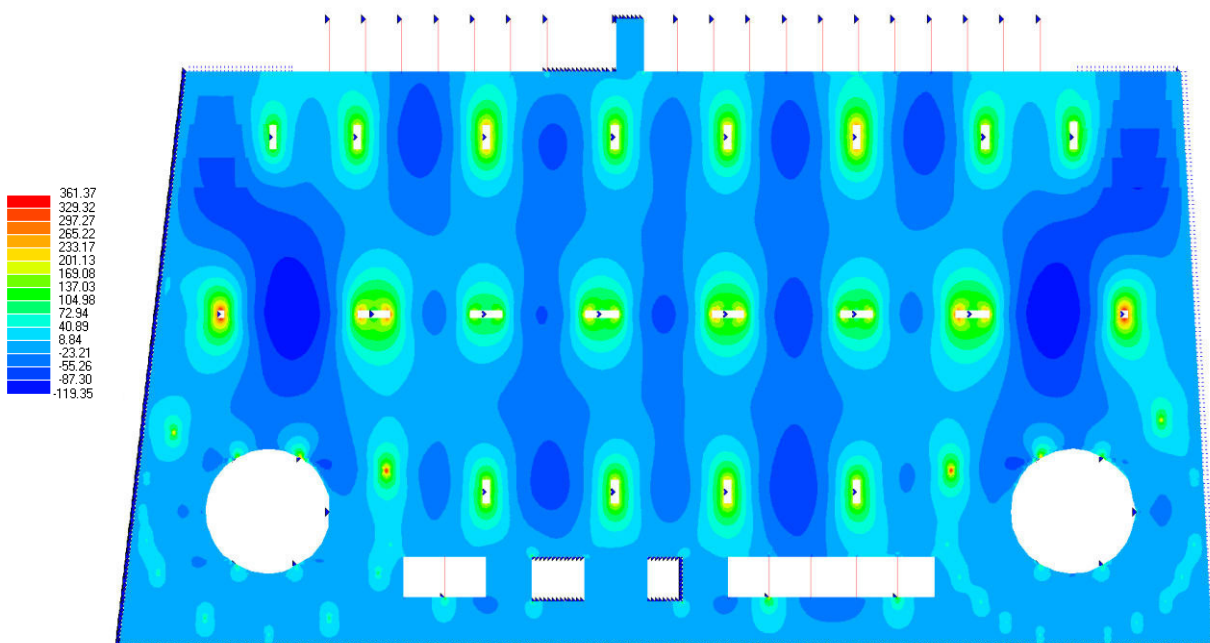
#### 4.5. Sollecitazioni elementari

Di seguito si riportano sotto forma grafica le sollecitazioni più significative relative a LC1 (peso proprio della struttura). Considerando che le altre due condizioni di carico sono dello stesso tipo del peso proprio (carichi uniformemente distribuiti su tutta la superficie del solaio), i risultati possono facilmente essere estesi in proporzione a tutti i casi considerati.

##### 4.5.1. Sollecitazioni flessionali



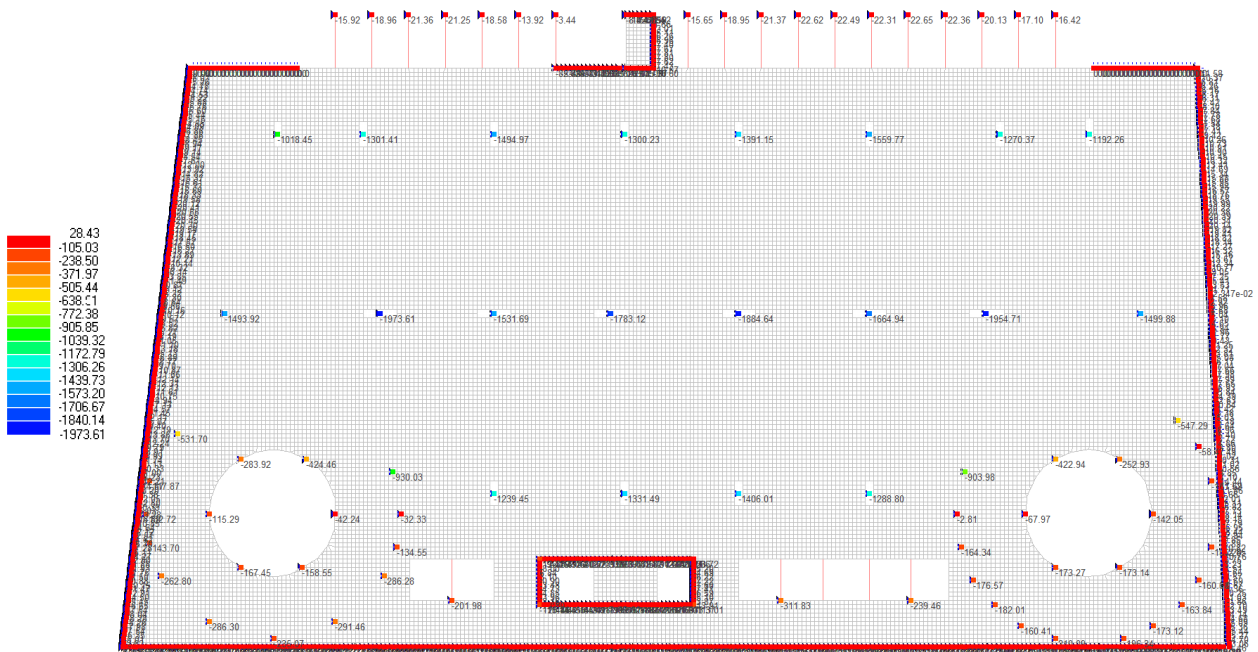
*LC1 (peso proprio) – Momenti flettenti in direzione verticale [kNm/m]*



*LC1 (peso proprio) – Momenti flettenti in direzione orizzontale [kNm/m]*

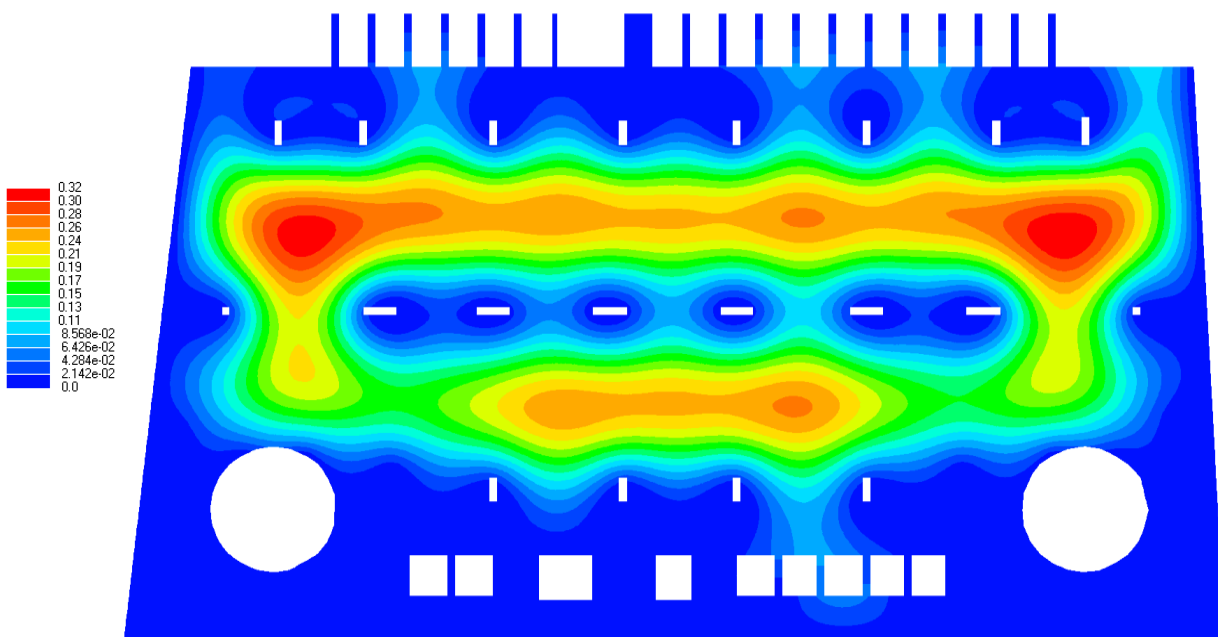
*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

#### 4.5.2. Reazioni vincolari



*LC1 (peso proprio) – Reazioni vincolari verticali [kN]*

#### 4.5.3. Deformazioni



*LC1 (peso proprio) – Spostamenti verticali [cm]*

#### 4.6. Combinazioni

##### 4.6.1. Coefficienti parziali di sicurezza allo SLU

Carichi	Coeff.	Effetto favorevole	Effetto sfavorevole
Permanenti	$\gamma_{G1}$	1,0	1,3
Permanenti non strutturali	$\gamma_{G2}$	0,0	1,5
Variabili	$\gamma_{Qi}$	0,0	1,5

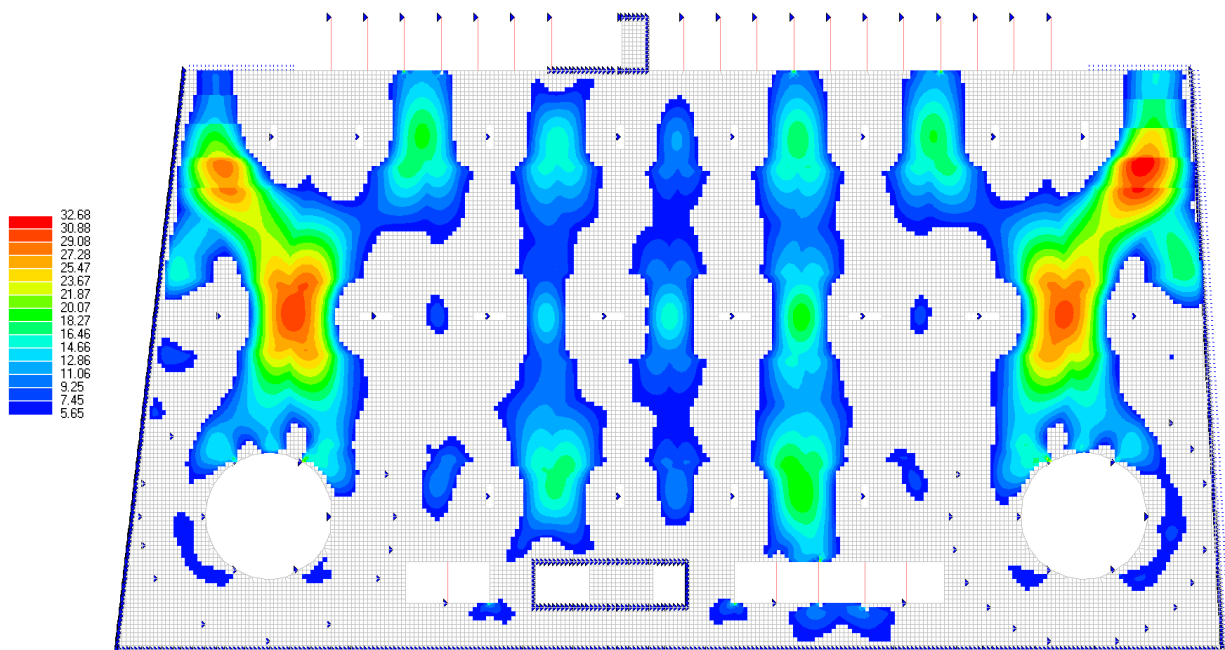
##### 4.6.2. Combinazioni allo SLU

In questa fase si considera un'unica combinazione:

$$CMB1 = 1,3 \cdot LC1 + 1,5 \cdot LC2 + 1,3 \cdot LC3$$

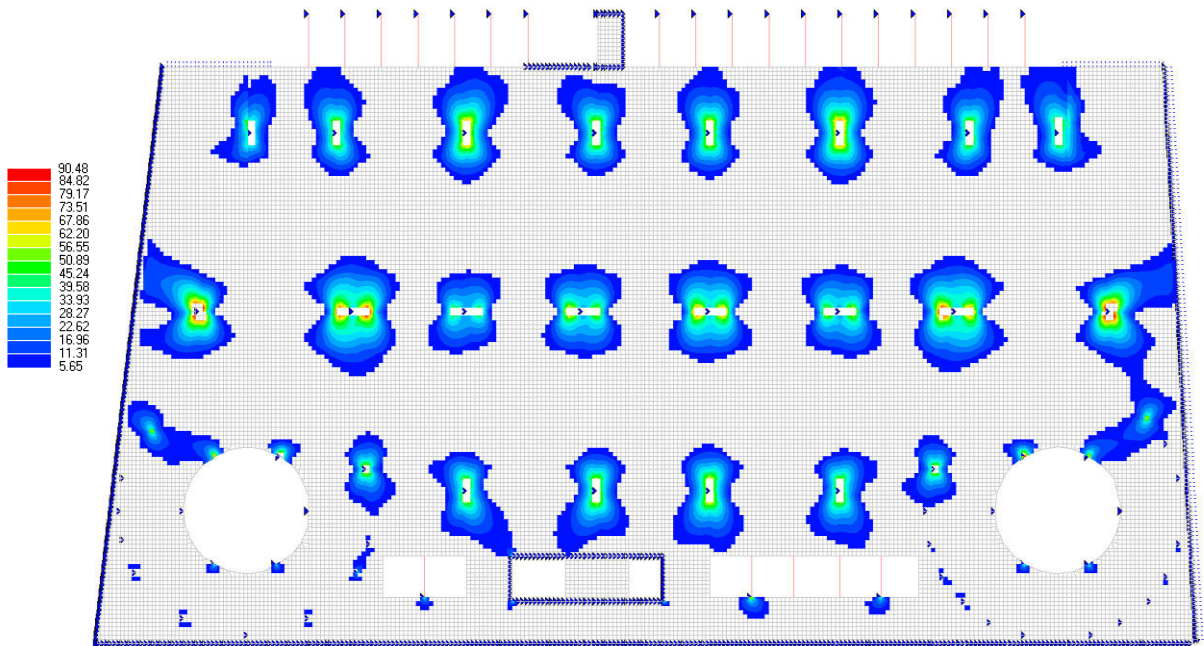
#### 4.7. Armature

Nelle immagini successive viene visualizzato il fabbisogno di armatura allo SLU nella soletta in c.a.



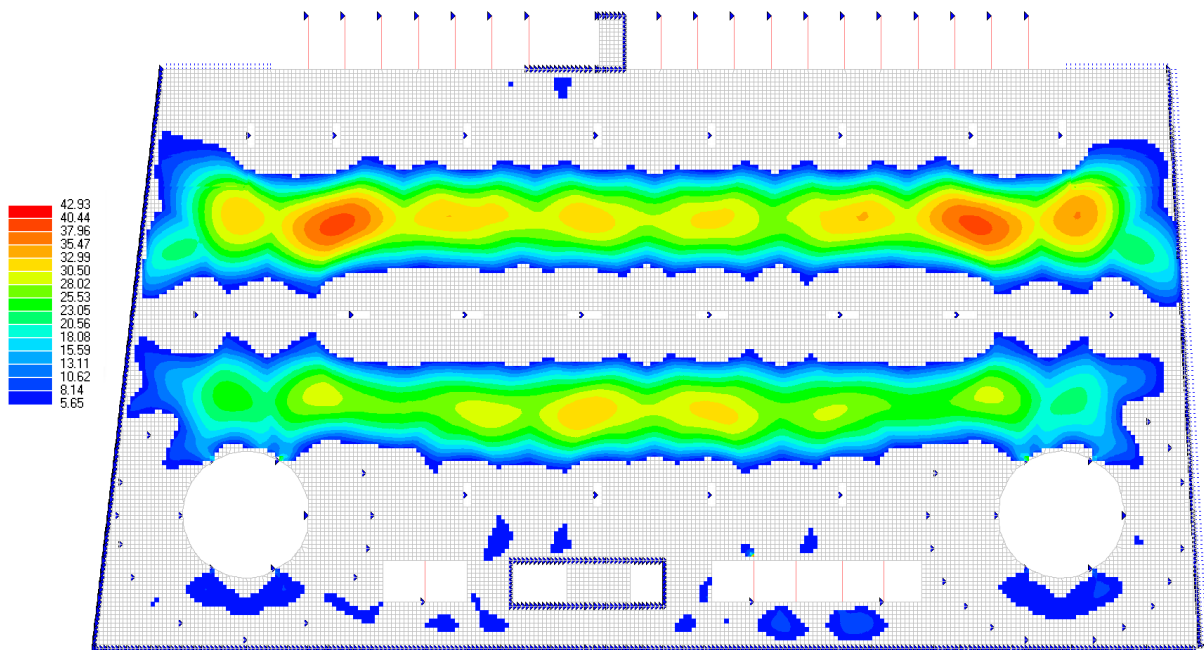
*Armatura orizzontale all'intradosso maggiore di  $1\phi 12/20$  [cm²/m]*

*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



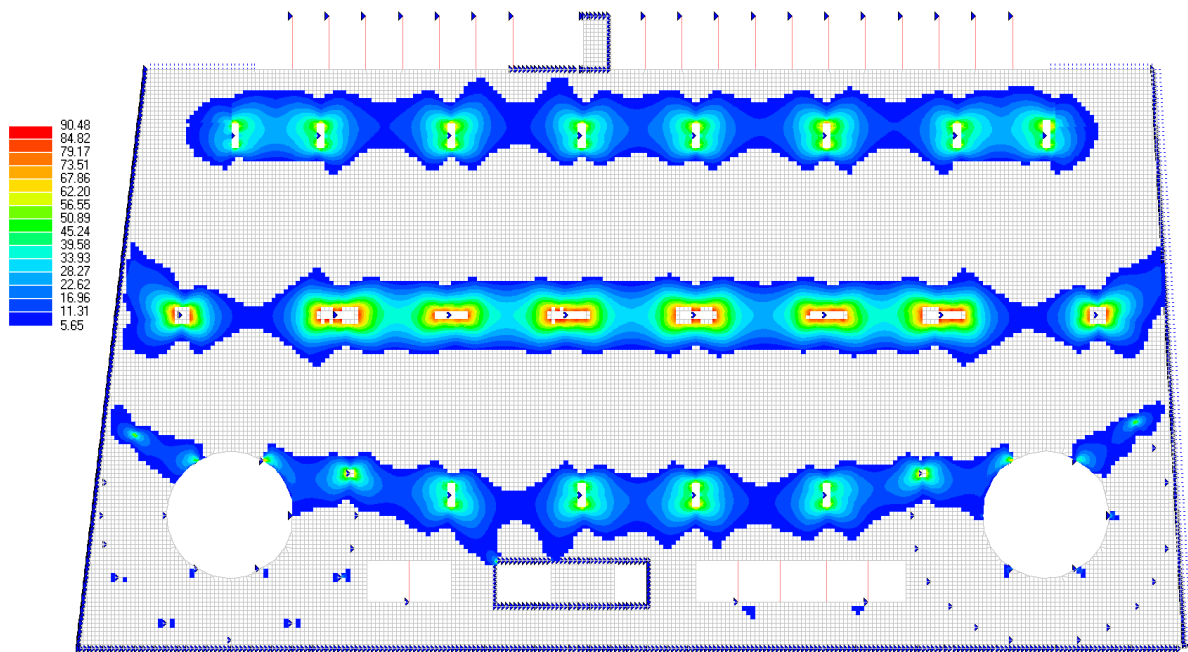
*Armatura orizzontale all'estradosso maggiore di  $1\phi 12/20$  e fino a  $2\phi 24/10$  [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ]*

Nell'intorno di alcuni pilastri l'armatura deve essere ulteriormente incrementata (elementi bianchi).



*Armatura verticale all'estradosso maggiore di  $1\phi 12/20$  [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ]*

*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



*Armatura orizzontale all'intradosso maggiore di  $1\phi 12/20$  e fino a  $2\phi 24/10$  [cm<sup>2</sup>/m]*

Nell'intorno di alcuni pilastri l'armatura deve essere ulteriormente incrementata (elementi bianchi).

## 5. SOLAIO INTERNO TIPO

I solai di transito dei vari piani sono tutti costituiti da una piastra rettangolare in c.a. dello spessore di 0,30 m. Durante la costruzione della struttura e prima della realizzazione delle rampe di accesso elicoidali, in prossimità di queste sono sostenuti puntualmente da pilastri.

In questa fase preliminare verrà analizzata un'unica tipologia di solaio valida per tutti i piani, prevedendo con ciò delle possibili compensazioni. Il solaio -1° ad esempio, pur avendo un sovraccarico accidentale leggermente superiore agli altri, sarà esente dal peso dei box auto presente nei solai sottostanti.

Si considerano, quando necessario, gli effetti nel piano dovuti alla reazione massima dei diaframmi, per i quali la lastra svolge una funzione di contrasto durante lo scavo.

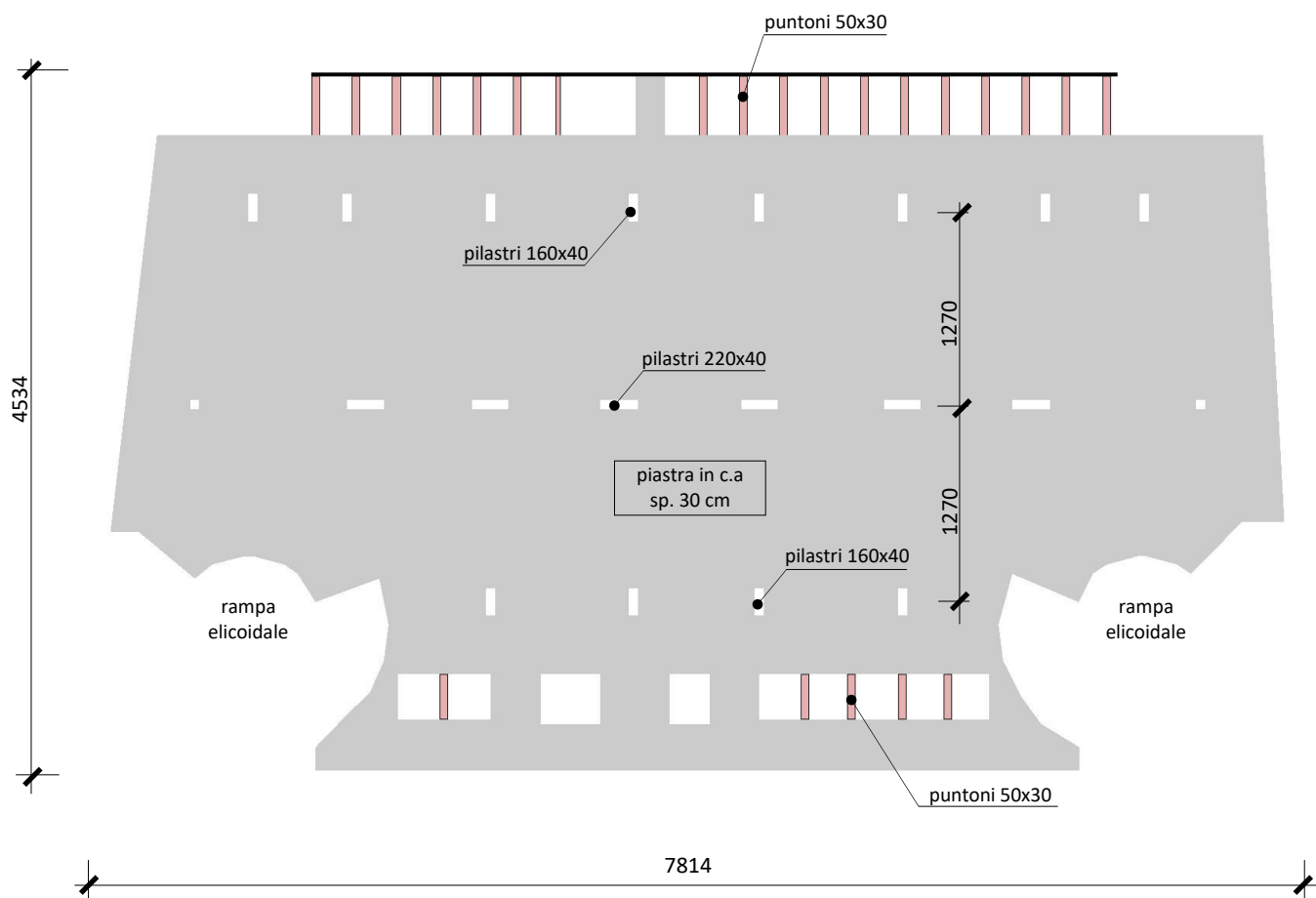
### 5.1. Materiali

Vedi il punto 4.1.

### 5.2. Caratteristiche geometrico-statiche

#### 5.2.1. Pianta

Spessore della soletta:	0,30 m
Lunghezza massima	78,14 m
Larghezza massima	45,34 m



### **5.3. Analisi dei carichi e casi elementari**

#### **5.3.1. Peso proprio della struttura in c.a. – LC1**

$$g_1 = 0,30 \times 25,0 = 7,50 \text{ kN/m}^2$$

#### **5.3.2. Azioni variabili verticali – LC2**

Il traffico è costituito da un carico uniformemente distribuito di  $2,50 \text{ kN/m}^2$  (Cat.F - Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a  $30 \text{ kN}$ ). In questa fase preliminare il carico si considera esteso a tutta l'area del solaio, senza tenere conto di eventuali parzializzazioni di campata.

$$q_1 = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

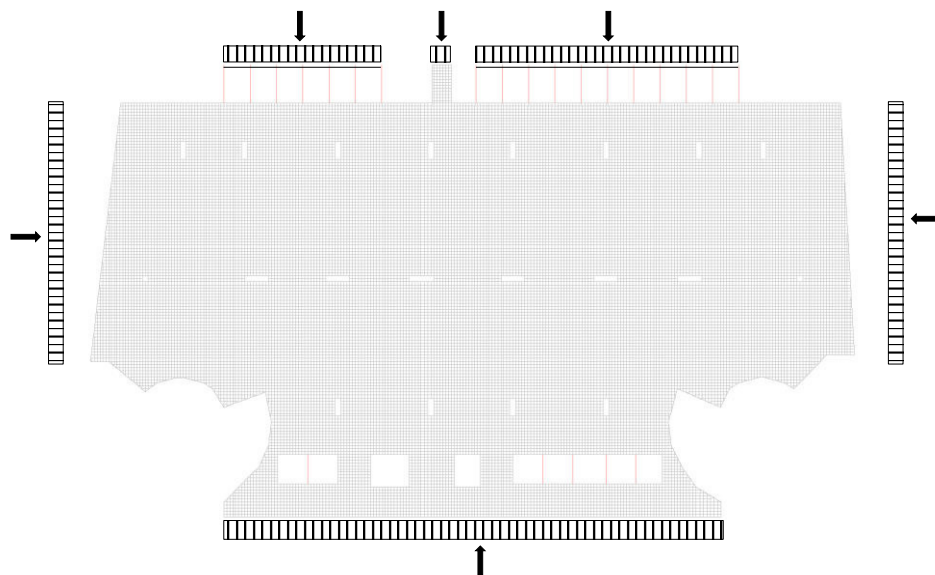
#### **5.3.3. Spinta dei diaframmi – LC3**

Durante la fase di scavo la piastra svolge una funzione di contrasto per i diaframmi disposti lungo il perimetro dello scavo.

La spinta massima lineare che questi esercitano sui quattro lati della lastra è valutabile in:

$$g_3 = 650 \text{ kN/m}$$

Per non creare sovraccarichi nei puntoni interni, le lunghezze di contatto diaframmi/solaio lungo i lati più lunghi sono state scelte in modo da evitare sbilanciamenti nelle risultanti compressive.



*Zone di contatto solaio/diaframmi*

#### 5.3.4. Sovraccarichi permanenti – LC4

I sovraccarichi permanenti vengono ricondotti a una forza uniformemente distribuita applicata all'intera superficie del solaio.

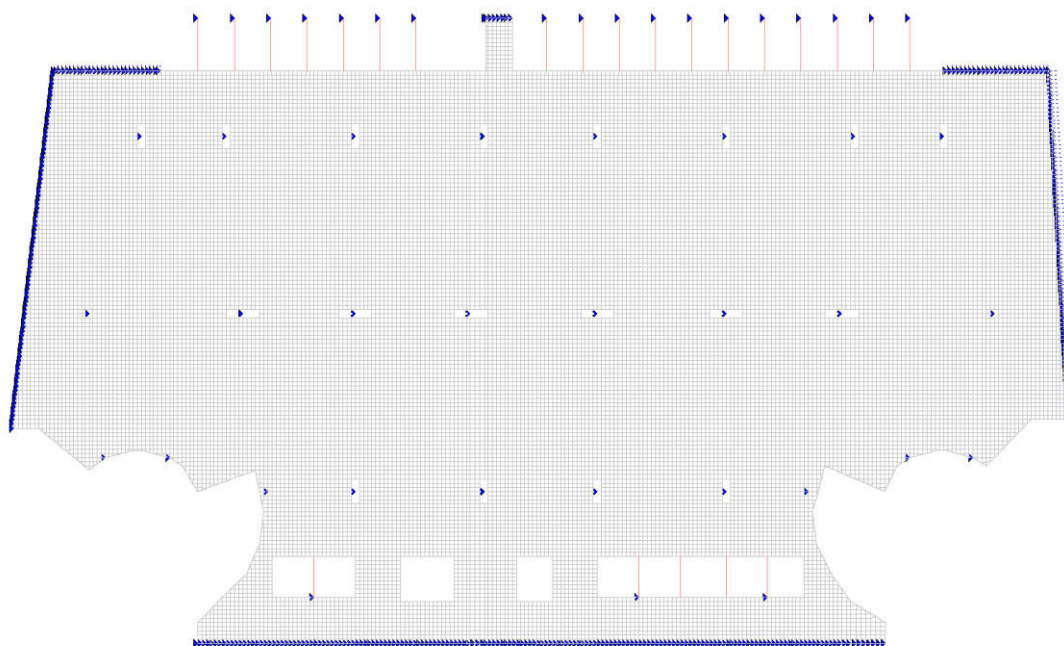
Impiantistica:	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Pareti box auto:	0,50 kN/m <sup>2</sup>
$g_2$	<hr/> 0,80 kN/m <sup>2</sup>

#### 5.4. Modello di calcolo

La struttura è stata risolta mediante un'analisi agli elementi finiti dopo averla trasformata in un modello composto da elementi lastra a comportamento flessionale e membranale ("plate") di dimensioni medie 30x30 cm e da elementi trave monodimensionali ("beam") per simulare i puntoni e le travi.

I pilastri sono stati schematizzati attraverso vincoli verticali puntiformi infinitamente rigidi.

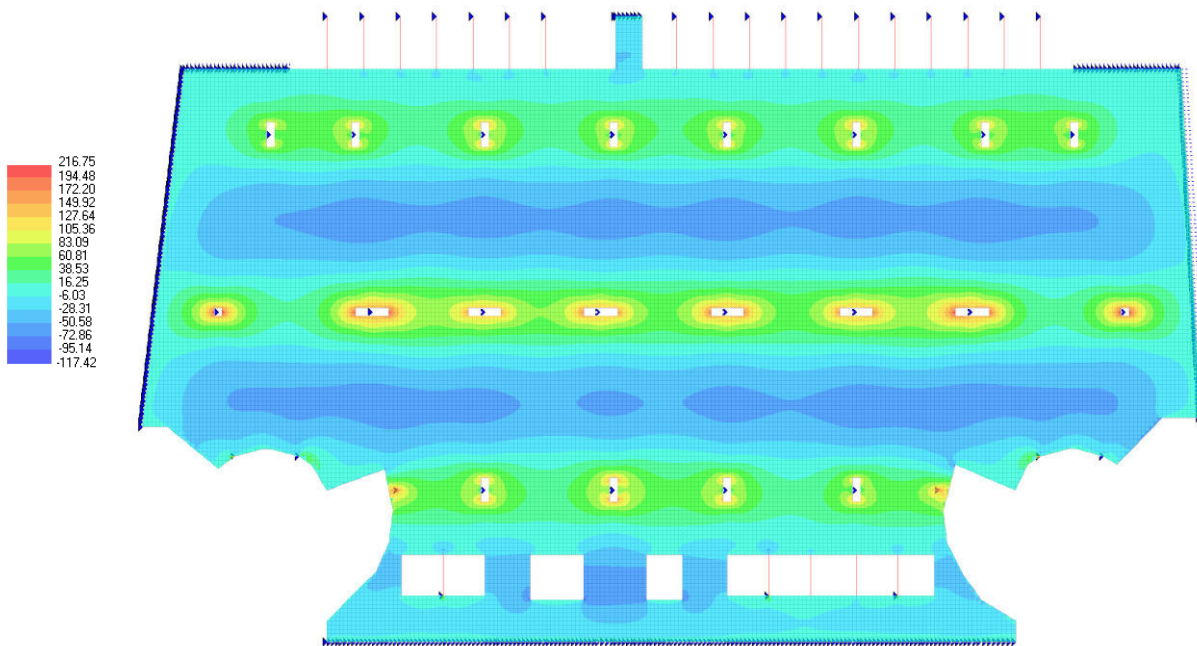
Il software utilizzato è il codice *Pro\_Sap rel. 17.2.2* prodotto e commercializzato dalla Società 2S.I. di Ferrara.



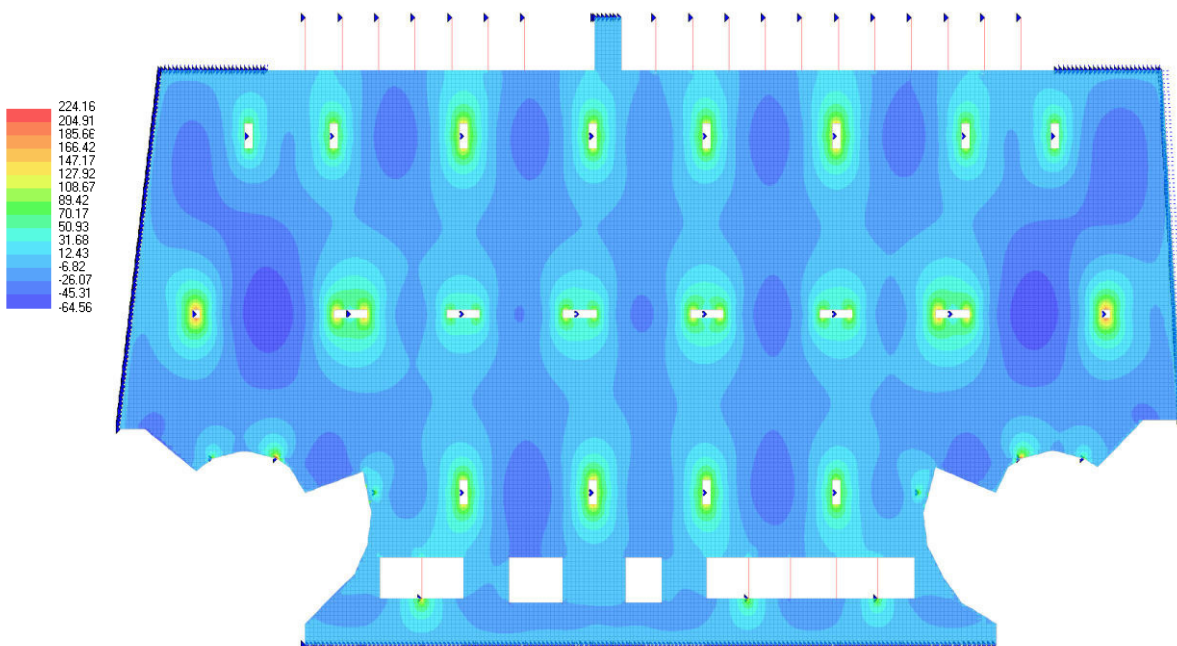
### 5.5. Sollecitazioni elementari

Di seguito si riportano sotto forma grafica le sollecitazioni più significative relative a LC1 (peso proprio della struttura) e LC3 (reazioni dei diaframmi). Considerando che le condizioni LC2 e LC4 sono dello stesso tipo del peso proprio (carichi uniformemente distribuiti su tutta la superficie del solaio), i risultati corrispondenti possono facilmente essere ricavati in termini proporzionali.

#### 5.5.1. Sollecitazioni flessionali

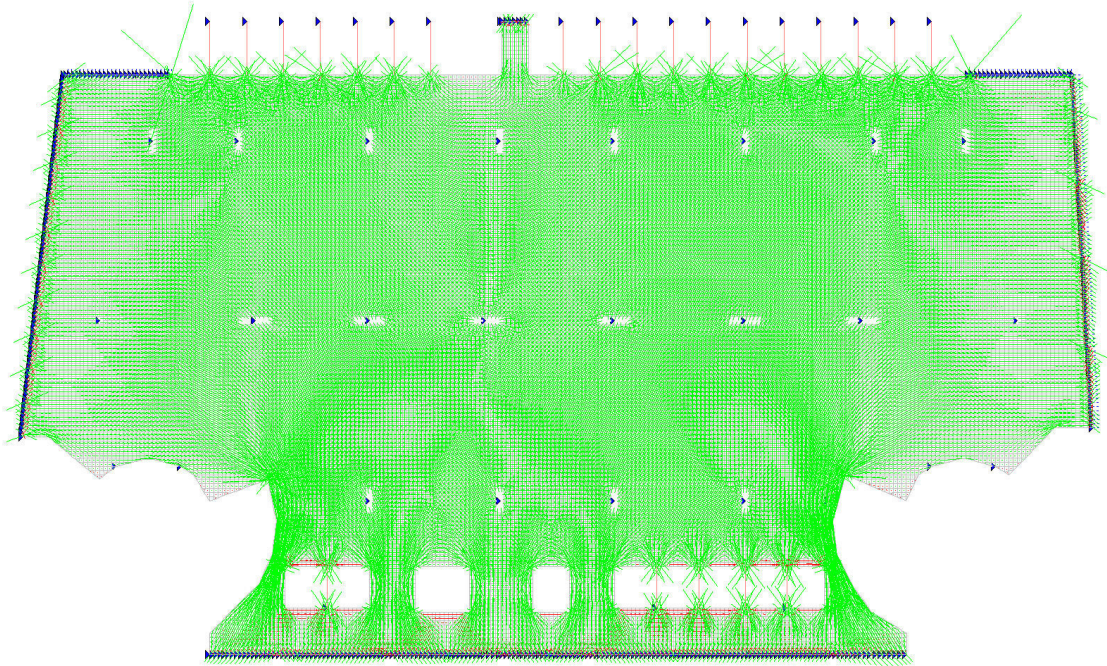


*LC1 (peso proprio) – Momenti flettenti in direzione verticale [kNm/m]*

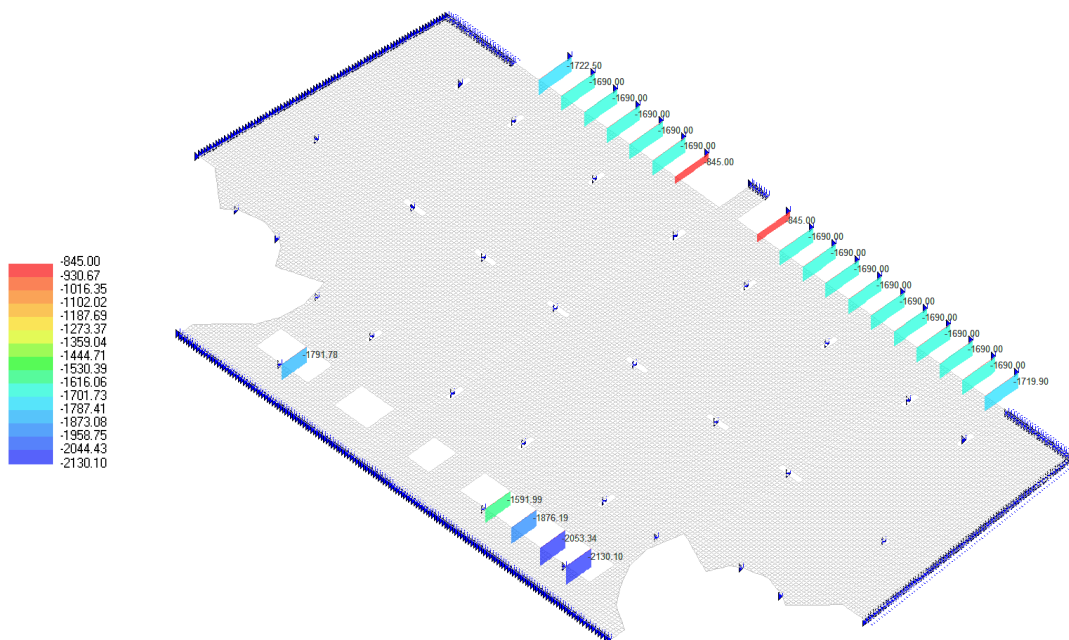


*LC1 (peso proprio) – Momenti flettenti in direzione orizzontale [kNm/m]*

### 5.5.2. Sollecitazioni membranali



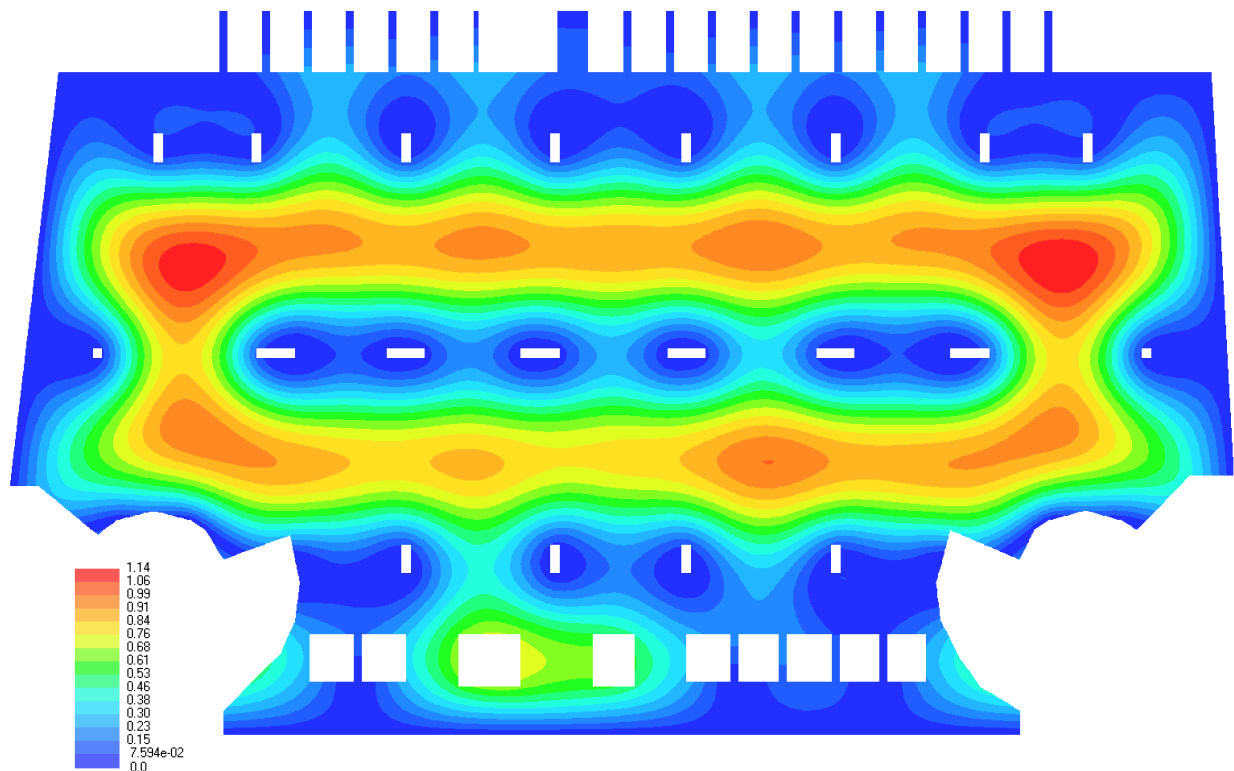
*LC3 (reazioni diaframmi) – Flusso degli sforzi membranali principali (verde = compressione)*



*LC3 (reazioni diaframmi) – Sforzi normali nelle travi [kN]*

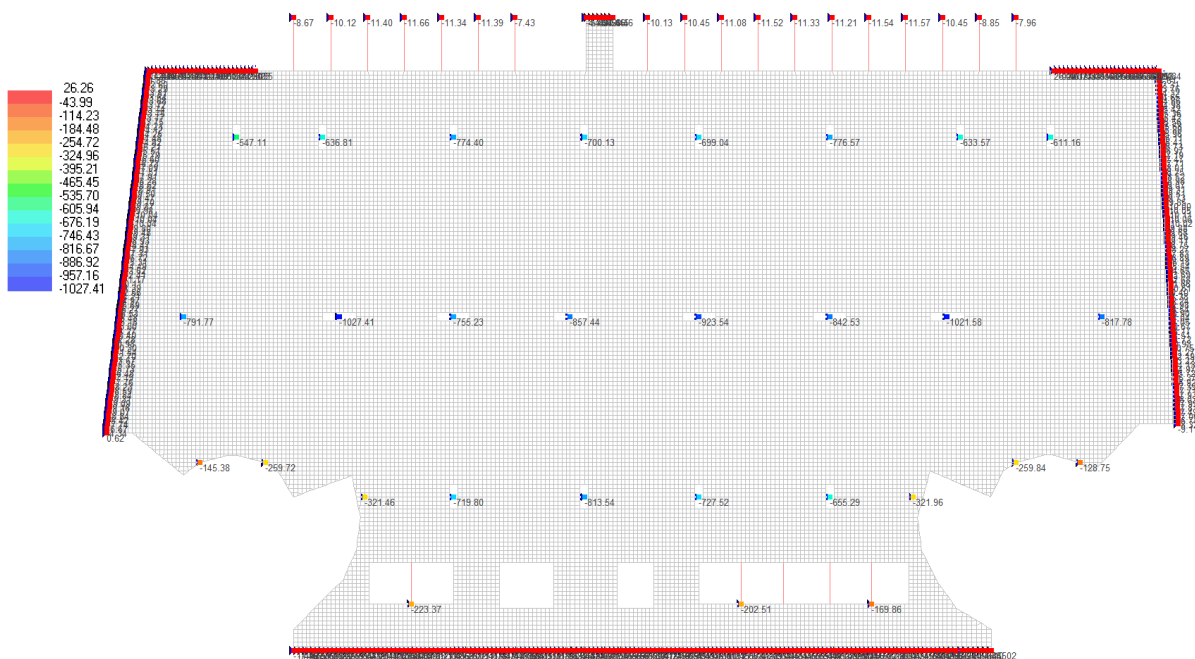
*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

### 5.5.3. Deformazioni



*LC1 (peso proprio) – Spostamenti verticali [cm]*

### 5.5.4. Reazioni vincolari



*LC1 (peso proprio) – Reazioni vincolari verticali [kN]*

## 5.6. Coefficienti di sicurezza e combinazioni

### 5.6.1. Stato limite ultimo SLU

- Coefficienti parziali di sicurezza

Carichi	Coeff.	Effetto favorevole	Effetto sfavorevole
Permanenti	$\gamma_{G1}$	1,0	1,3
Permanenti non strutturali	$\gamma_{G2}$	0,0	1,5
Variabili	$\gamma_{Qi}$	0,0	1,5

- Combinazioni

Combinazione	LC1	LC2	LC3	LC4
CMB1	1,3	1,5	0	1,3
CMB2	1,3	1,5	1,3	1,3

### 5.6.2. Stato limite di esercizio SLE per combinazione caratteristica

- Coefficienti parziali di sicurezza

Carichi	Coeff.	
Permanenti	$\gamma_G$	1,0
Variabili	$\gamma_Q$	1,0

- Combinazioni

Combinazione	LC1	LC2	LC3	LC4
CMB3	1,0	1,0	0	1,0
CMB4	1,0	1,0	1,0	1,0

- Tensioni massime nei materiali

$$\sigma_c \leq 0,6 f_{ck} = 0,6 \times 32 = 19,20 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{calcestruzzo})$$

$$\sigma_s \leq 0,8 f_{yk} = 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio})$$

### 5.6.3. Stato limite di esercizio SLE per combinazione quasi permanente

- Coefficienti parziali di sicurezza

Carichi	Coeff.	
Permanenti	$\gamma_G$	1,0
Variabili	$\gamma_Q$	0,6

$\psi_{21} = 0,6$  per rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso  $\leq 30$  kN)

- Combinazioni

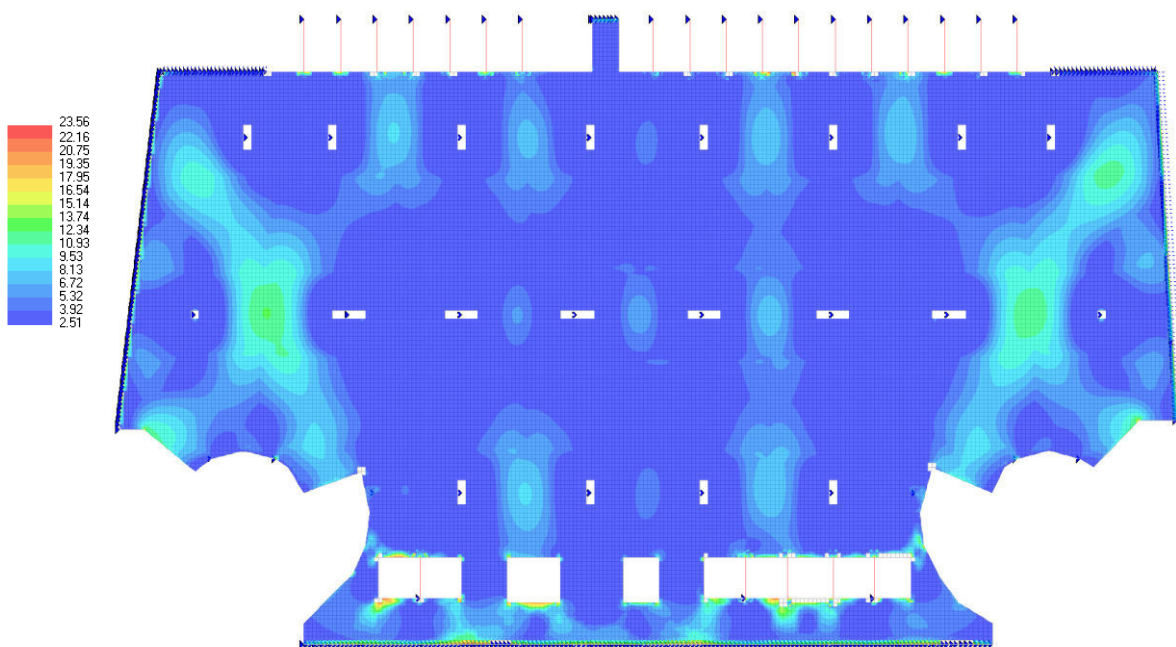
Combinazione	LC1	LC2	LC3	LC4
CMB5	1,0	0,6	0	1,0
CMB6	1,0	0,6	1,0	1,0

- Tensioni massime nei materiali

$$\sigma_c \leq 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 32 = 14,40 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{calcestruzzo})$$

## 5.7. Armature e verifiche

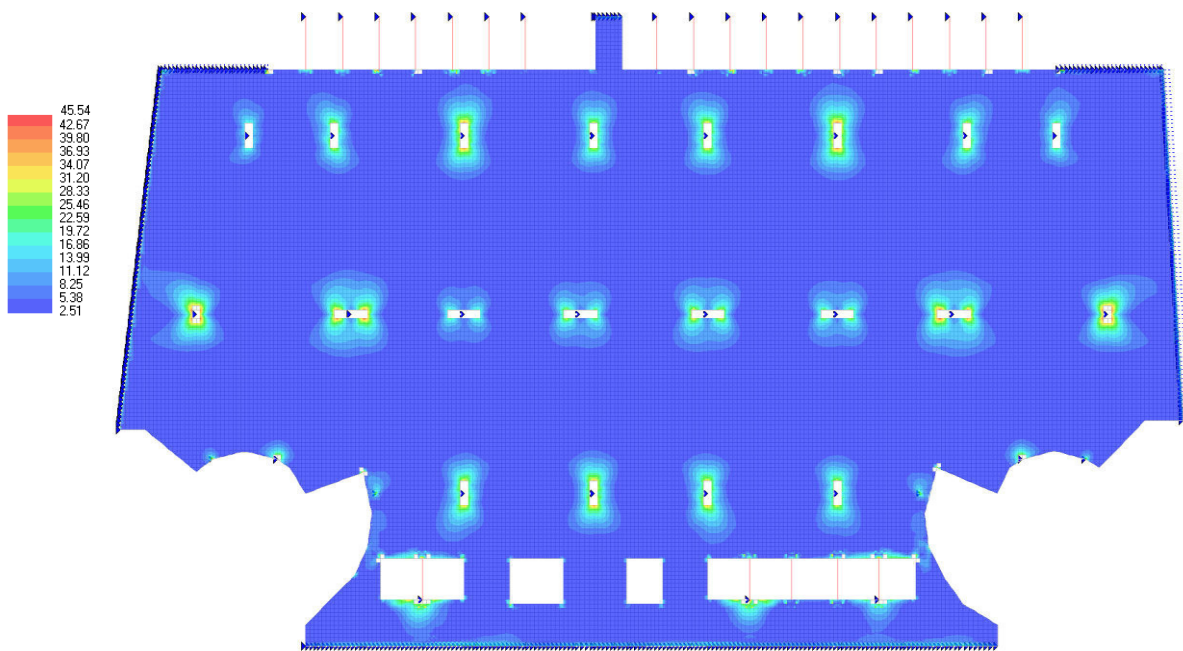
### 5.7.1. Stato limite ultimo SLU - piastra



*Armatura orizzontale all'intradosso - copertura fino a  $1\phi 20/20 + 1\phi 20/40$  [cm<sup>2</sup>/m]*

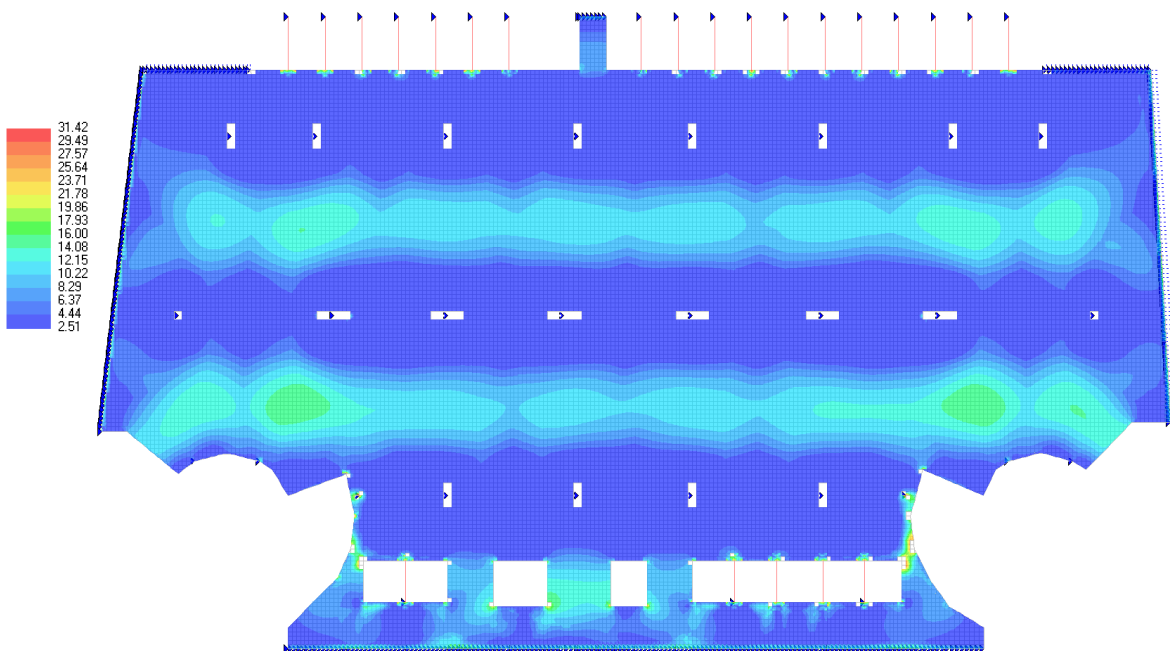
Localmente e in corrispondenza di punti singolari l'armatura dovrà essere ulteriormente infittita.

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



*Armatura orizzontale all'estradosso - copertura fino a  $1\phi 24/10$  [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ]*

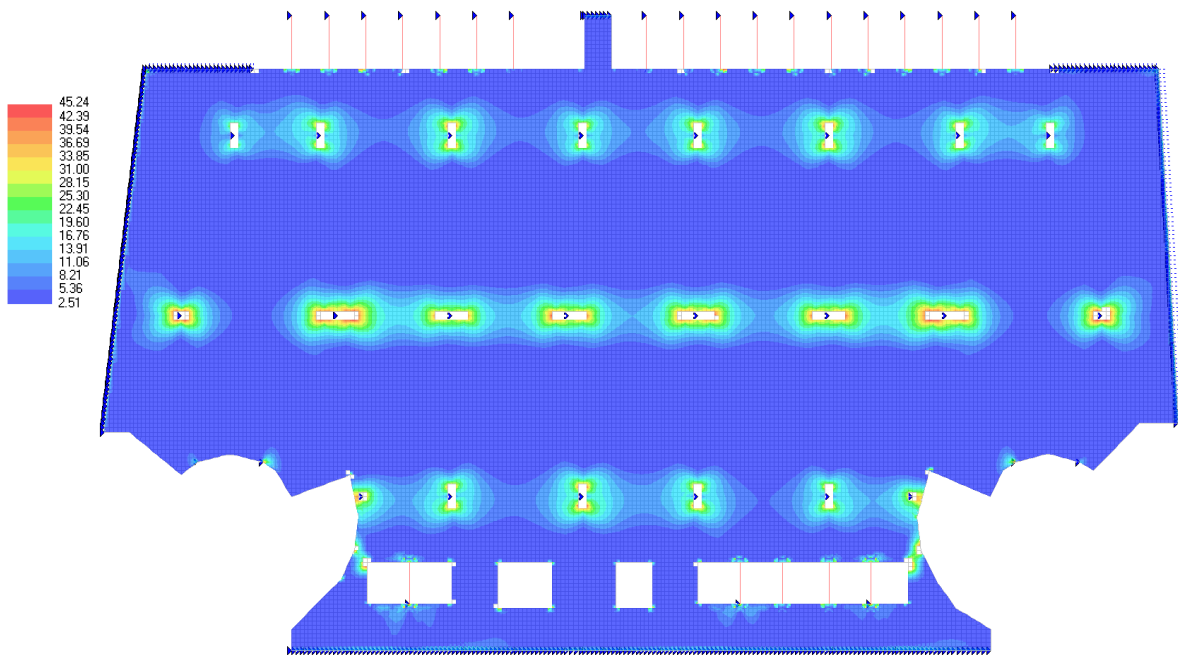
Localmente e in corrispondenza di punti singolari l'armatura dovrà essere ulteriormente infittita.



*Armatura verticale all'intradosso - copertura fino a  $1\phi 20/10$  [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ]*

Localmente e in corrispondenza di punti singolari l'armatura dovrà essere ulteriormente infittita.

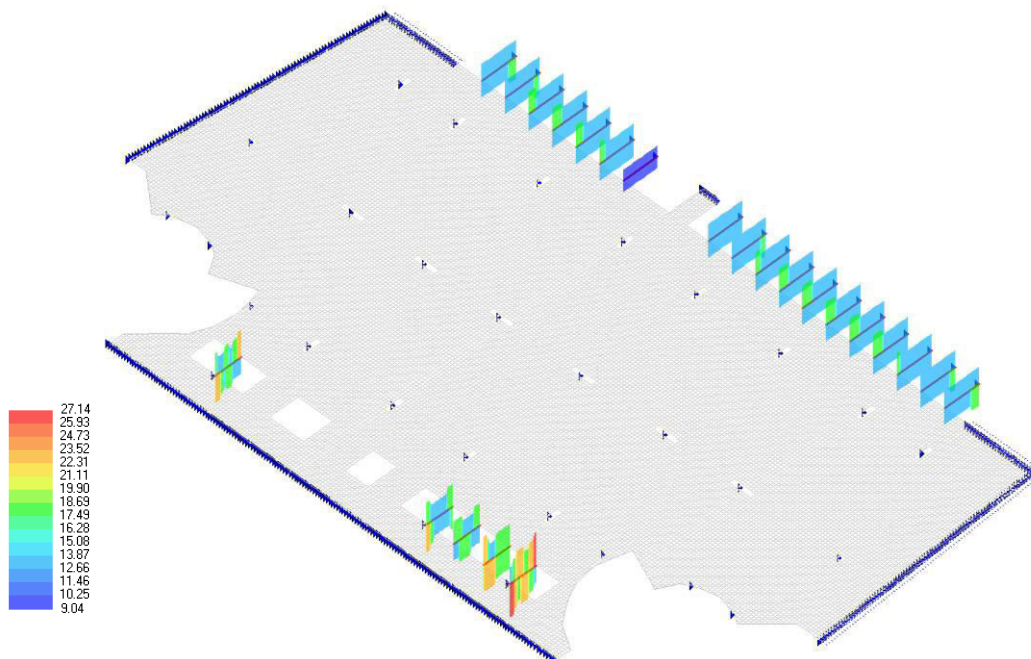
*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



*Armatura verticale all'estradosso - copertura fino a  $1\phi 24/10$  [cm²/m]*

Localmente e in corrispondenza di punti singolari l'armatura dovrà essere ulteriormente infittita.

### 5.7.2. Stato limite ultimo SLU - travi



*Armatura longitudinale nelle travi [cm²]*

## 6. PILASTRI

La verifica viene effettuata per due pilastri tipo: il pilastro più sollecitato della fila centrale e quello più sollecitato delle file laterali.

### 6.1. Pilastro tipo fila centrale (40x220 cm)

#### 1) CALCESTRUZZO

Classe	32/40		
$f_{ck}$	32	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ck,cub}$	40	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{cm}$	40	MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	3,02	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0,05}$	2,12	MPa	resistenza caratteristica a trazione
$E_{cm}$	33.300	MPa	modulo elastico istantaneo
$\nu$	0,2		coefficiente Poisson
$\alpha$	1,0E-05	°C <sup>-1</sup>	coefficiente di dilatazione termica
$\alpha_{cc}$	0,85		coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c$	1,5		coefficiente parziale di sicurezza
$f_{cd}$	18,13	MPa	resistenza di calcolo a compressione

#### 2) ACCIAIO

Armatura in barre

Tipo	B450C		
$f_{yk}$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_s$	1,15		coefficiente parziale di sicurezza
$f_{yd}$	391	MPa	resistenza di calcolo dell'acciaio

Micropali

Tipo	S355		
$f_{yk}$	355	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_s$	1,05		coefficiente parziale di sicurezza
$f_{yd}$	338	MPa	resistenza di calcolo dell'acciaio

#### 3) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Sezione rettangolare

B	40 cm	base
H	220 cm	altezza

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

**4) SOLLECITAZIONI (massime) - Pilastro P2**

SOLAIO	p. p.	perm.	accid.	
primo	1975	2655	2640	kN
secondo	1030	95	345	kN
terzo	1030	95	345	kN
quarto	1030	95	345	kN
quinto	1030	95	345	kN
sesto	1030	95	345	kN
peso proprio pilastrata 0,40x2,20x20,0x25,00	440			
	7565	3130	4365	kN

**5) COMBINAZIONI**

**5a) Stato Limite Ultimo (SLU)**

$\gamma_G$	1,3		permanenti strutturali e non
$\gamma_Q$	1,5		azioni variabili
$e_x$	2,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato minore ( $\geq 2$ cm)
$e_y$	11,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato maggiore ( $\geq 2$ cm)
$N_{Ed}$	20451	kN	sforzo normale massimo
$M_{Ey}$	409	kNm	momento attorno all'asse Y (passante per i lati corti)
$M_{Ex}$	2250	kNm	momento attorno all'asse X (passante per i lati lunghi)

**5b) SLE caratteristica (rara)**

$\gamma_G$	1,0		permanenti strutturali e non
$\gamma_Q$	1,0		azioni variabili
$e_x$	2,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato minore ( $\geq 2$ cm)
$e_y$	11,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato maggiore ( $\geq 2$ cm)
$N_{Ed}$	15060	kN	sforzo normale massimo totale su pilastro in c.a. e micropalo
$N_{Ed,mp}$	1350	kN	sforzo normale in prima fase assorbito dai 3 micropali inglobati
$N_{Ed,2fase}$	13710	kN	sforzo normale in seconda fase sul pilastro e i 3 micropali
$M_{Ey,2fase}$	274	kNm	momento attorno all'asse Y (passante per i lati corti)
$M_{Ex,2fase}$	1508	kNm	momento attorno all'asse X (passante per i lati lunghi)
<b>Limiti</b>			
$\sigma_{c,lim}$	19,20	MPa	calcestruzzo compresso
$\sigma_{s,lim}$	360,00	MPa	acciaio barre armatura
$\sigma_{s,lim_{mp}}$	284,00	MPa	acciaio micropali

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

5c) SLE quasi permanente

$\gamma_G$	1,0		permanenti strutturali e non
$\psi_{2,1}$	0,6		azioni variabili
$e_x$	2,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato minore ( $\geq 2$ cm)
$e_y$	11,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato maggiore ( $\geq 2$ cm)
$N_{Ed}$	13314	kN	sforzo normale massimo totale su pilastro in c.a. e micropalo
$N_{Ed,mp}$	1350	kN	sforzo normale in prima fase assorbito dai 3 micropali inglobati
$N_{Ed,2fase}$	11964	kN	sforzo normale in seconda fase sul pilastro e i 3 micropali
$M_{Ey}$	239	kNm	momento attorno all'asse Y (passante per i lati corti)
$M_{Ex}$	1316	kNm	momento attorno all'asse X (passante per i lati lunghi)
Limiti			
$\sigma_{c,lim}$	14,40	MPa	calcestruzzo compresso

6) VERIFICHE

6a) Stato Limite Ultimo (SLU)

$N_{Ed}$	20451	kN
----------	-------	----

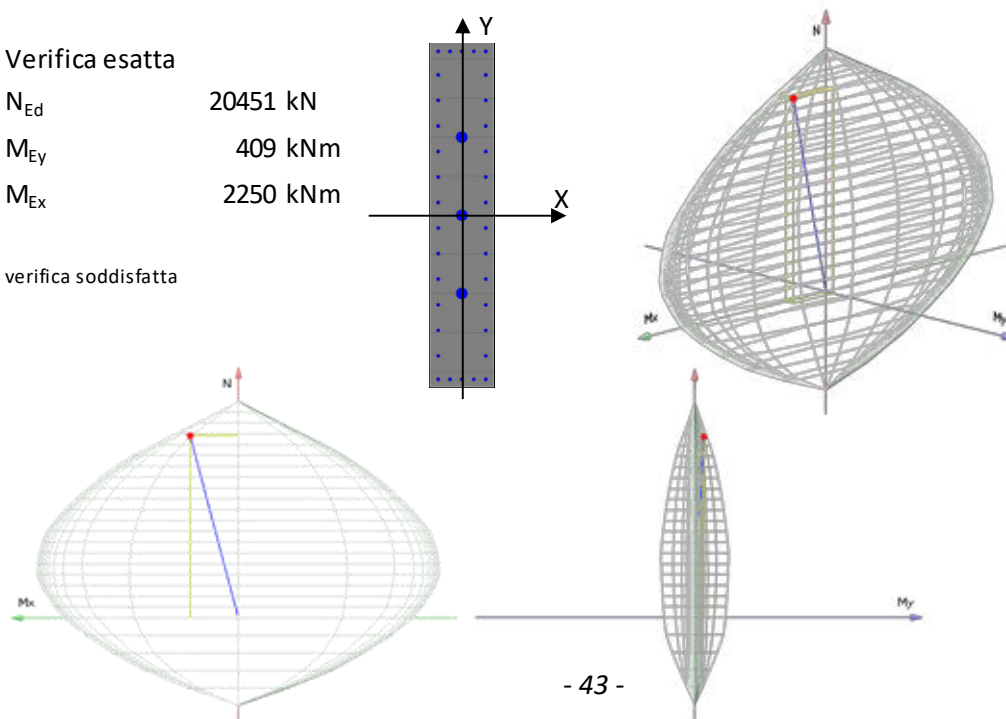
Verifica semplificata

$A_c$	8800	cm <sup>2</sup>	area calcestruzzo
$A_{s,max}$	352,00	cm <sup>2</sup>	area massima di acciaio permessa
$A_{s,tot}$	153,81	cm <sup>2</sup>	area totale armatura in barre (34 $\phi$ 24)
$A_{s,tot\_mp}$	135,00	cm <sup>2</sup>	area totale micropali (3 $\phi$ 127/12,5)
$A_{s,tot} + A_{s,tot\_mp}$	288,81	cm <sup>2</sup>	< $A_{s,max}$
$N_{Rd}$	23349	kN	> $N_{Ed}$ verifica soddisfatta

Verifica esatta

$N_{Ed}$	20451 kN
$M_{Ey}$	409 kNm
$M_{Ex}$	2250 kNm

verifica soddisfatta



*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

6b) SLE caratteristica

Prima fase - Solo micropali

$N_{Ed,1fase}$  450 kN/micropalo

$A_{s,micropalo}$  45 cm<sup>2</sup>

Seconda fase - Pilastro in c.a. con micropali inglobati

$N_{Ed,2fase}$  13710 kN

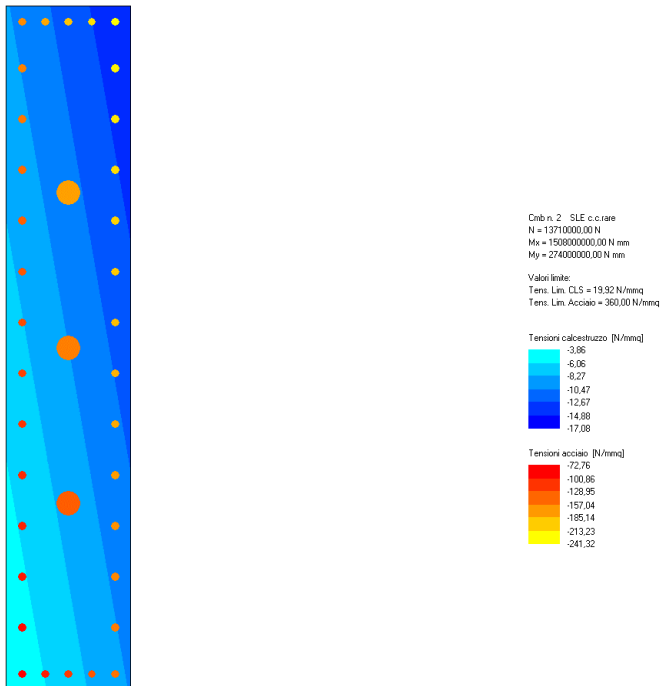
$M_{Ey,2fase}$  274 kNm

$M_{Ex,2fase}$  1508 kNm

Calcestruzzo (compressione)

$\sigma_{c,max,2fase}$  17,08 MPa <  $\sigma_{c,lim}$  = 19,20 MPa

verifica soddisfatta



Acciaio micropali

$\sigma_{s,mp,1fase}$  100,00 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp,2fase}$  179,00 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp}$  279,00 MPa <  $\sigma_{s,lim\_mp}$  = 284,00 MPa

*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

6c) SLE quasi permanente

Prima fase - Solo micropali

$N_{Ed,1fase}$  450 kN/micropalo

$A_{s,micropalo}$  45 cm<sup>2</sup>

Seconda fase - Pilastro in c.a. con micropali inglobati

$N_{Ed,2fase}$  11964 kN

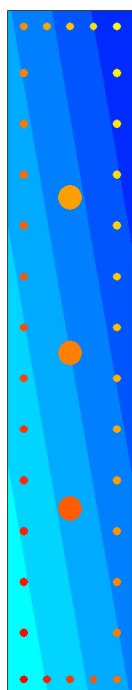
$M_{Ey,2fase}$  239 kNm

$M_{Ex,2fase}$  1316 kNm

Calcestruzzo (compressione)

$\sigma_{c,max,2fase}$  14,91 MPa  $\sim \sigma_{c,lim} =$  14,40 MPa

verifica quasi soddisfatta per il calcestruzzo



Cmb n. 3 SLE c.c. quasi perm.  
N = 11964000,00 N  
Mx = 1316000000,00 N mm  
My = 239000000,00 N mm

Valori limite:  
Tens. Lim. CLS = 14,94 N/mm<sup>2</sup>  
Limite fessure = 0,30 mm

Tensioni calcestruzzo [N/mm<sup>2</sup>]



Tensioni acciaio [N/mm<sup>2</sup>]



Vtk = 0,00 mm (Dk)

Acciaio micropali

$\sigma_{s,mp,1fase}$  100,00 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp,2fase}$  156,20 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp}$  256,20 MPa

## 6.2. Pilastro tipo fila laterale (40x160 cm)

### 1) CALCESTRUZZO

Classe	32/40		
$f_{ck}$	32	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ck,cub}$	40	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{cm}$	40	MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	3,02	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0,05}$	2,12	MPa	resistenza caratteristica a trazione
$E_{cm}$	33.300	MPa	modulo elastico istantaneo
$\nu$	0,2		coefficiente Poisson
$\alpha$	1,0E-05	°C <sup>-1</sup>	coefficiente di dilatazione termica
$\alpha_{cc}$	0,85		coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c$	1,5		coefficiente parziale di sicurezza
$f_{cd}$	18,13	MPa	resistenza di calcolo a compressione

### 2) ACCIAIO

Armatura in barre

Tipo	B450C		
$f_{yk}$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_s$	1,15		coefficiente parziale di sicurezza
$f_{yd}$	391	MPa	resistenza di calcolo dell'acciaio

Micropali

Tipo	S355		
$f_{yk}$	355	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_s$	1,05		coefficiente parziale di sicurezza
$f_{yd}$	338	MPa	resistenza di calcolo dell'acciaio

### 3) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Sezione rettangolare

B	40 cm	base
H	160 cm	altezza

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

**4) SOLLECITAZIONI (massime) - Pilastro P8**

SOLAIO	p. p.	perm.	accid.	
primo	1560	2015	2020	kN
secondo	780	190	255	kN
terzo	780	190	255	kN
quarto	780	190	255	kN
quinto	780	190	255	kN
sesto	780	190	255	kN
peso proprio pilastrata 0,40x1,60x20,0x25,00	320			
	5780	2965	3295	kN

**5) COMBINAZIONI**

**5a) Stato Limite Ultimo (SLU)**

$\gamma_G$	1,3		permanenti strutturali e non
$\gamma_Q$	1,5		azioni variabili
$e_x$	2,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato minore ( $\geq 2$ cm)
$e_y$	8,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato maggiore ( $\geq 2$ cm)
$N_{Ed}$	16311	kN	sforzo normale massimo
$M_{Ey}$	326	kNm	momento attorno all'asse Y (passante per i lati corti)
$M_{Ex}$	1305	kNm	momento attorno all'asse X (passante per i lati lunghi)

**5b) SLE caratteristica (rara)**

$\gamma_G$	1,0		permanenti strutturali e non
$\gamma_Q$	1,0		azioni variabili
$e_x$	2,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato minore ( $\geq 2$ cm)
$e_y$	8,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato maggiore ( $\geq 2$ cm)
$N_{Ed}$	12040	kN	sforzo normale massimo totale su pilastro in c.a. e micropalo
$N_{Ed,mp}$	1350	kN	sforzo normale in prima fase assorbito dai 3 micropali inglobati
$N_{Ed,2fase}$	10690	kN	sforzo normale in seconda fase sul pilastro e i 3 micropali
$M_{Ey,2fase}$	214	kNm	momento attorno all'asse Y (passante per i lati corti)
$M_{Ex,2fase}$	855	kNm	momento attorno all'asse X (passante per i lati lunghi)
<b>Limiti</b>			
$\sigma_{c,lim}$	19,20	MPa	calcestruzzo compresso
$\sigma_{s,lim}$	360,00	MPa	acciaio barre armatura
$\sigma_{s,lim_{mp}}$	284,00	MPa	acciaio micropali

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

5c) SLE quasi permanente

$\gamma_G$	1,0		permanenti strutturali e non
$\psi_{2,1}$	0,6		azioni variabili
$e_x$	2,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato minore ( $\geq 2$ cm)
$e_y$	8,00	cm	eccentricità aggiuntiva lungo il lato maggiore ( $\geq 2$ cm)
$N_{Ed}$	10722	kN	sforzo normale massimo totale su pilastro in c.a. e micropalo
$N_{Ed,mp}$	1350	kN	sforzo normale in prima fase assorbito dai 3 micropali inglobati
$N_{Ed,2fase}$	9372	kN	sforzo normale in seconda fase sul pilastro e i 3 micropali
$M_{Ey}$	187	kNm	momento attorno all'asse Y (passante per i lati corti)
$M_{Ex}$	750	kNm	momento attorno all'asse X (passante per i lati lunghi)
Limiti			
$\sigma_{c,lim}$	14,40	MPa	calcestruzzo compresso

6) VERIFICHE

6a) Stato Limite Ultimo (SLU)

$N_{Ed}$	16311	kN
----------	-------	----

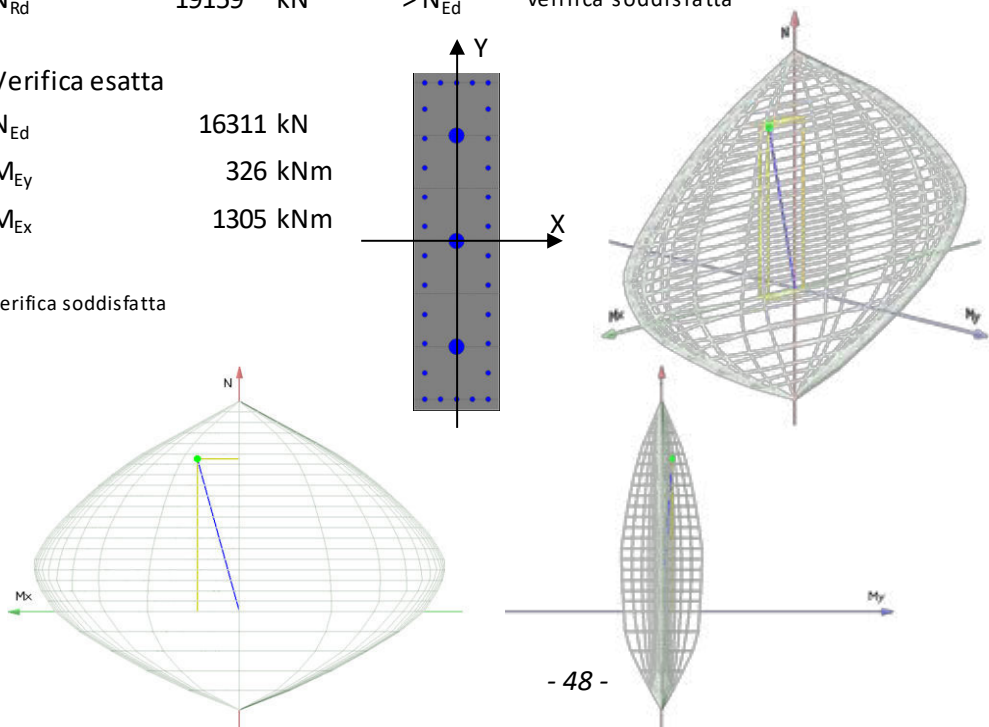
Verifica semplificata

$A_c$	6400	cm <sup>2</sup>	area calcestruzzo
$A_{s,max}$	256,00	cm <sup>2</sup>	area massima di acciaio permessa
$A_{s,tot}$	135,72	cm <sup>2</sup>	area totale armatura in barre (30 $\phi$ 24)
$A_{s,tot\_mp}$	135,00	cm <sup>2</sup>	area totale micropali (3 $\phi$ 127/12,5)
$A_{s,tot} + A_{s,tot\_mp}$	270,72	cm <sup>2</sup>	> $A_{s,max}$
$N_{Rd}$	19159	kN	> $N_{Ed}$ verifica soddisfatta

Verifica esatta

$N_{Ed}$	16311 kN
$M_{Ey}$	326 kNm
$M_{Ex}$	1305 kNm

verifica soddisfatta



*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

6b) SLE caratteristica

Prima fase - Solo micropali

$N_{Ed,1fase}$  450 kN/micropalo

$A_{s,micropalo}$  45 cm<sup>2</sup>

Seconda fase - Pilastro in c.a. con micropali inglobati

$N_{Ed,2fase}$  10690 kN

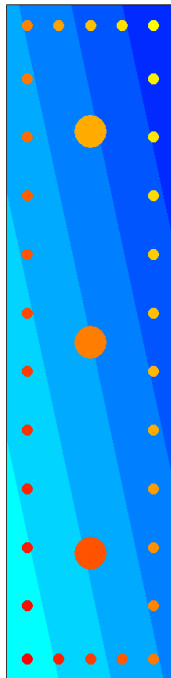
$M_{Ey,2fase}$  214 kNm

$M_{Ex,2fase}$  855 kNm

Calcestruzzo (compressione)

$\sigma_{c,max,2fase}$  16,70 MPa <  $\sigma_{c,lim} =$  19,20 MPa

verifica soddisfatta



Comb. 2 SLE c.c. fase  
 $N = 10690000,00$  N  
 $M_x = 855000000,00$  N mm  
 $M_y = 214000000,00$  N mm

Valori limite:  
 Tens. Lim. CLS = 19,92 N/mm<sup>2</sup>  
 Tens. Lim. Acciaio = 360,00 N/mm<sup>2</sup>

Tensioni calcestruzzo [N/mm<sup>2</sup>]  
 -3,81  
 -5,36  
 -8,11  
 -10,26  
 -12,40  
 -14,55  
 -16,70

Tensioni acciaio [N/mm<sup>2</sup>]  
 -72,92  
 -99,69  
 -126,86  
 -153,63  
 -180,80  
 -207,77  
 -234,74

Acciaio micropali

$\sigma_{s,mp,1fase}$  100,00 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp,2fase}$  182,00 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp}$  282,00 MPa <  $\sigma_{s,lim\_mp} =$  284,00 MPa

*Parcheeggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

6c) SLE quasi permanente

Prima fase - Solo micropali

$N_{Ed,1fase}$  450 kN/micropalo

$A_{s,micropalo}$  45 cm<sup>2</sup>

Seconda fase - Pilastro in c.a. con micropali inglobati

$N_{Ed,2fase}$  9372 kN

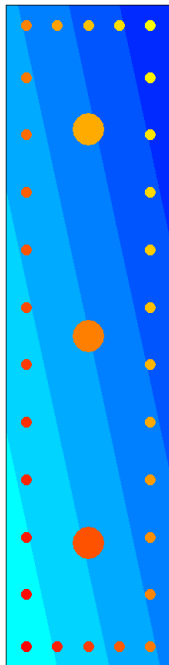
$M_{Ey,2fase}$  187 kNm

$M_{Ex,2fase}$  750 kNm

Calcestruzzo (compressione)

$\sigma_{c,max,2fase}$  14,63 MPa  $\sim \sigma_{c,lim} =$  14,40 MPa

verifica quasi soddisfatta per il calcestruzzo



Cmb n. 3 SLE c.c. quasi perm.  
N = 9372000.00 N  
Mx = 750000000.00 N mm  
My = 187000000.00 N mm

Valori limite:  
Tens. Lim. CLS = 14.94 N/mm<sup>2</sup>  
Limite fessure = 0.30 mm

Tensioni calcestruzzo [N/mm<sup>2</sup>]  
-3.35  
-5.23  
-7.11  
-8.99  
-10.87  
-12.75  
-14.63

Tensioni acciaio [N/mm<sup>2</sup>]  
64.02  
87.64  
111.25  
134.86  
158.48  
182.09  
205.71

wk = 0.00 mm (Ok)

Acciaio micropali

$\sigma_{s,mp,1fase}$  100,00 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp,2fase}$  159,40 MPa (compressione)

$\sigma_{s,max,mp}$  259,40 MPa

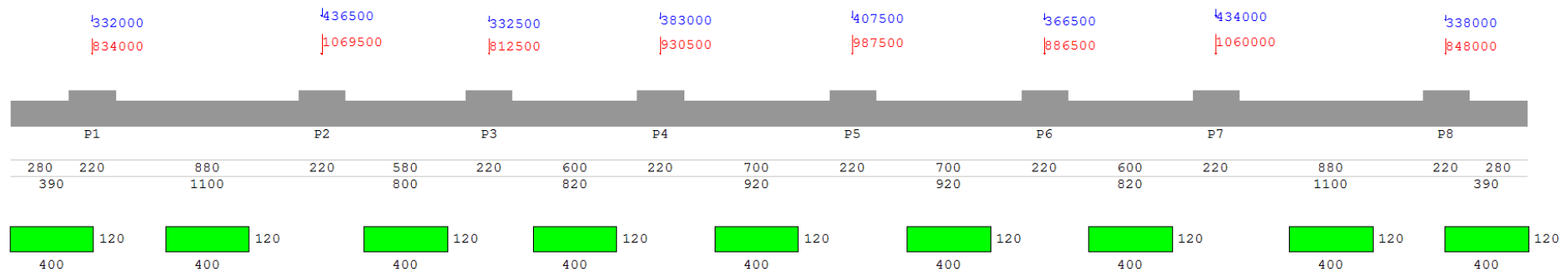
## 7. FONDAZIONI

Le fondazioni principali sono di tipo diretto. Sono costituite da tre travi a sezione rettangolare disposte in senso longitudinale parallelamente al lato più lungo della pianta della struttura.

Lo schema statico è quello di trave continua su suolo elastico. Essendo il terreno di ottime caratteristiche meccaniche si è assunto per la costante di Winkler un valore di 10,0 daN/cm<sup>3</sup>.

Le verifiche sono state eseguite allo stato limite ultimo utilizzando il programma *Beamcad ver. 19.17* commercializzato da Concrete S.r.l. di Padova.

### 7.1. Trave centrale



*Trave centrale – Prospetto, luci, sezioni e carichi [daN]*

*(azioni permanenti in rosso, variabili in blu)*

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

**LUCI**

	400 cm
P1-P2	1090 cm
P2-P3	780 cm
P3-P4	840 cm
P4-P5	900 cm
P5-P6	920 cm
P6-P7	820 cm
P7-P8	1090 cm
	<u>380 cm</u>
Totale	7220 cm

**DIMENSIONI**

Base	400 cm
Altezza	120 cm
Copriferro	7 cm
(distanza superficie cls-asse armatura)	

**MATERIALI**

Calce-struzzo	C32/40
Acciaio	B450C
$k_w$	10,00 daN/cm <sup>3</sup>

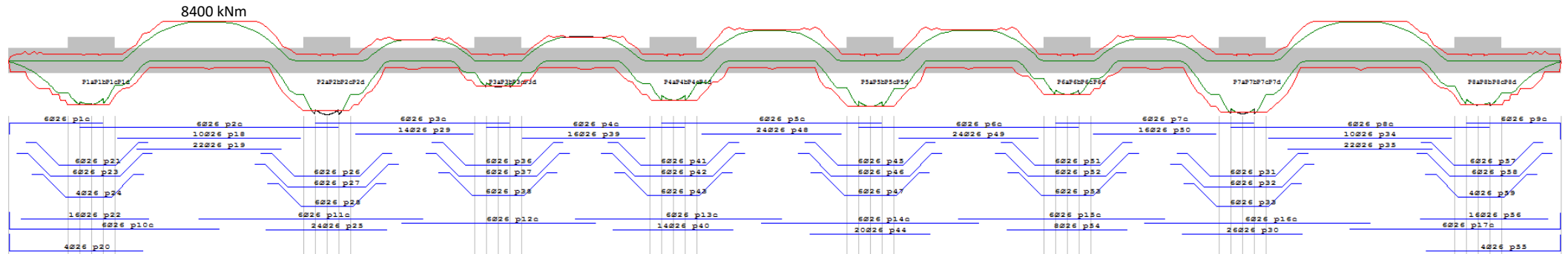
<b>PILASTRI</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	
dimensioni	40x40	220x40	220x40	220x40	220x40	220x40	220x40	40x40	cm <sup>2</sup>
area sezione trasv.	0,16	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,16	m <sup>2</sup>
<b>REAZIONI SOLAIO DI COPERTURA</b>									
Peso proprio	1.495	1.975	1.535	1.785	1.885	1.665	1.955	1.500	kN
Permanente	2.005	2.655	2.050	2.380	2.525	2.235	2.630	2.005	kN
Accidentale	1.995	2.640	2.050	2.380	2.525	2.240	2.615	2.015	kN
<b>REAZIONI LIVELLI INFERIORI</b>									
Peso proprio	795	1030	755	860	925	845	1025	820	kN
Permanente	85	95	65	80	80	60	90	85	kN
Accidentale	265	345	255	290	310	285	345	275	kN
<b>PESO PILASTRATA</b>									
Pilastrata (H=20 m)	80	440	440	440	440	440	440	80	kN

*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

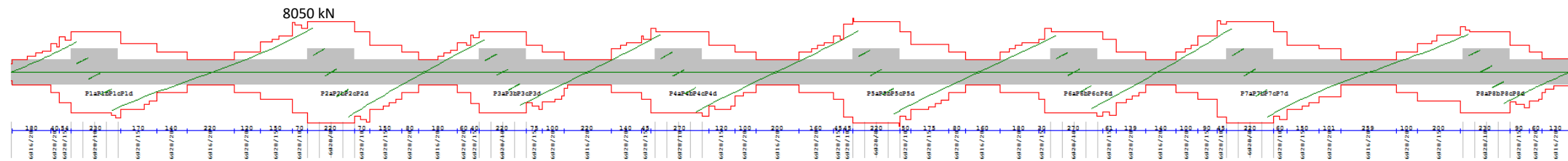
**SOLLECITAZIONI TOTALI ALLO SPICCATO DELL'ELEVAZIONE**

PP + Perm.	7980	10695	8125	9305	9875	8865	10600	8110	kN
Accidentale	3320	4365	3325	3830	4075	3665	4340	3390	kN
PP+Perm.+Accid.	11300	15060	11450	13135	13950	12530	14940	11500	kN
SLU									
1,3	10.374	13.904	10.563	12.097	12.838	11.525	13.780	10.543	kN
1,5	4.980	6.548	4.988	5.745	6.113	5.498	6.510	5.085	kN
	15.354	20.451	15.550	17.842	18.950	17.022	20.290	15.628	kN

*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



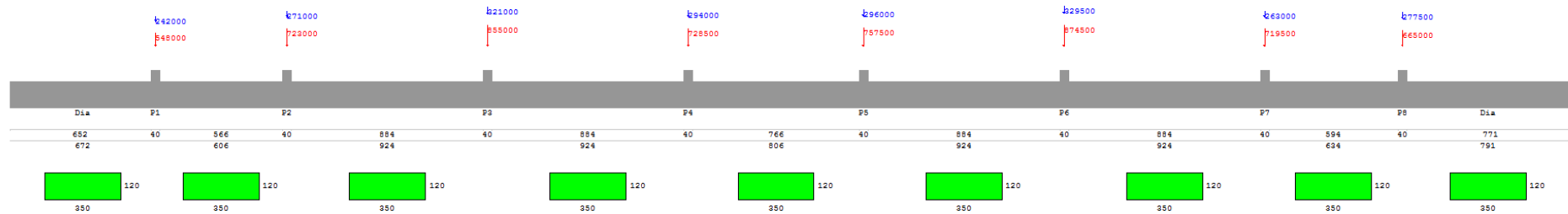
*Momenti di calcolo (verdi), resistenti (rossi) e armatura longitudinale*



*Taglio di calcolo (verde), resistente (rosso) e staffe*

*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

## 7.2. Trave laterale



*Trave laterale – Prospetto, luci, sezioni e carichi [daN]*

*(azioni permanenti in rosso, variabili in blu)*

### LUCI

	672	cm
P1-P2	606	cm
P2-P3	924	cm
P3-P4	924	cm
P4-P5	806	cm
P5-P6	924	cm
P6-P7	924	cm
P7-P8	634	cm
	<u>791</u>	cm
Totale	7205	cm

### DIMENSIONI

Base	350	cm
Altezza	120	cm
Copriferro	7	cm
(distanza superficie cls-asse armatura)		

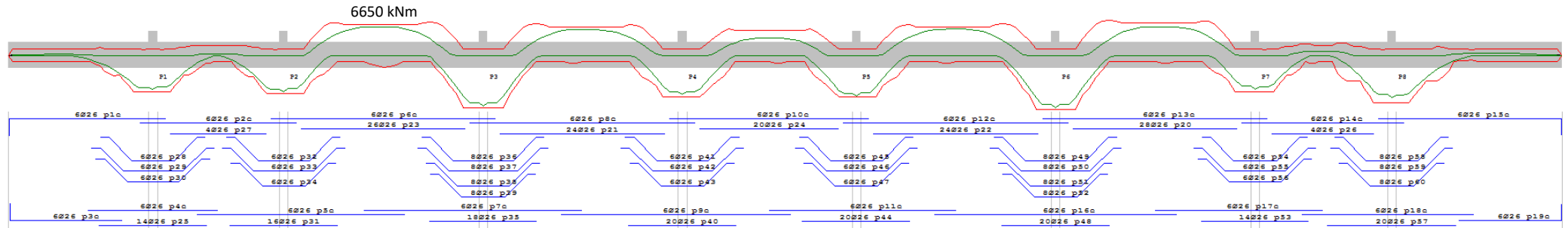
### MATERIALI

Calcestruzzo	C32/40
Acciaio	B450C
$k_w$	10,00 daN/cm <sup>3</sup>

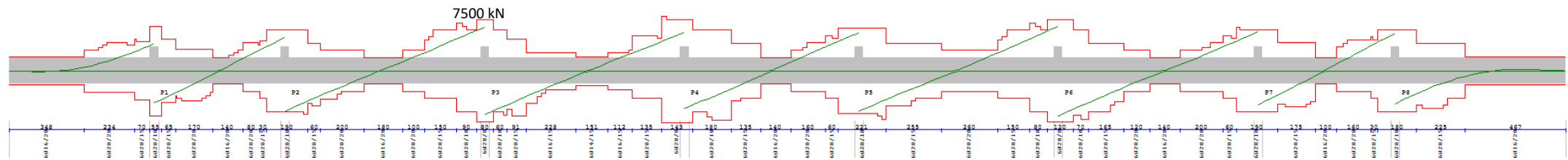
*Parcheggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*

<b>PILASTRI</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	
dimensioni	160x40	160x40	160x40	160x40	160x40	160x40	160x40	160x40	cm <sup>2</sup>
area sezione trasv.	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	m <sup>2</sup>
<b>REAZIONI SOLAIO DI COPERTURA</b>									
Peso proprio	1.020	1.305	1.495	1.300	1.395	1.560	1.270	1.195	kN
Permanente	1.215	1.705	1.960	1.765	1.810	2.015	1.680	1.410	kN
Accidentale	1.495	1.660	1.960	1.765	1.810	2.020	1.605	1.750	kN
<b>REAZIONI LIVELLI INFERIORI</b>									
Peso proprio	550	640	775	700	700	780	635	615	kN
Permanente	35	140	180	80	150	190	150	50	kN
Accidentale	185	210	250	235	230	255	205	205	kN
<b>PESO PILASTRATA</b>									
Pilastrata (H=20 m)	320	320	320	320	320	320	320	320	kN
<b>SOLLECITAZIONI TOTALI ALLO SPICCATO DELL'ELEVAZIONE</b>									
PP + Perm.	5480	7230	8550	7285	7775	8745	7195	6250	kN
Accidentale	2420	2710	3210	2940	2960	3295	2630	2775	kN
PP+Perm.+Accid.	7900	9940	11760	10225	10735	12040	9825	9025	kN
<b>SLU</b>									
1,3	7124	9399	11115	9471	10108	11369	9354	8125	kN
1,5	3630	4065	4815	4410	4440	4943	3945	4163	kN
	10754	13464	15930	13881	14548	16311	13299	12288	kN

*Parceggio interrato in Piazza della Vittoria a Bolzano*  
*Progetto preliminare*



*Momenti di calcolo (verdi), resistenti (rossi) e armatura longitudinale*



*Taglio di calcolo (verde), resistente (rosso) e staffe*