

# Variante S.S.1 Aurelia – Variante in Comune di Massa 1°Lotto (Canal Magro – Stazione).

## PROGETTO DEFINITIVO

cod. F1397

<b>PROGETTAZIONE:</b> RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	<b>MANDATARIA:</b> 	<b>MANDANTI:</b>  <b>MATILDI+PARTNERS</b> BUILDING FOR HUMANS
<b>IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:</b>  <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	<b>IL PROGETTISTA:</b>  <b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE:</b> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE, PROGETTAZIONE STRADALE, GEOTECNICA ED OPERE STRUTTURALI: <i>Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723</i>	
<b>IL GEOLOGO:</b>  <i>Geol. Pietro Accolti Gil – POLITECNICA</i> <i>Ordine Geologi Regione Toscana n° 728</i>	<b>STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE:</b> <i>Arch. Paola Gabrielli – POLITECNICA</i> <i>ordine Architetti Provincia di Bologna n. 2921</i>	
<b>IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:</b>  <i>Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723</i>	<b>CANTIERIZZAZIONE E FASI ESECUTIVE:</b> <i>Ing. Alessio Gori – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5969</i>	
<b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:</b>  <i>Ing. Raffaele Franco Carso</i>	<b>IDROLOGIA ED IDRAULICA:</b> <i>Ing. Alessandro Cecchelli – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Grosseto n.760</i>	
<b>PROTOCOLLO:</b>	<b>DATA:</b>	<b>COLLABORATORI DI PROGETTO:</b> <i>Ing. Massimo Palermo – POLITECNICA</i> <i>Ing. Mattia De Caro – POLITECNICA</i> <i>Ing. Giulio Melosi – POLITECNICA</i> <i>Geom. Franco Mariotti – POLITECNICA</i>

## 05 – OPERE D'ARTE

Opere d'arte minori – Attraversamenti idraulici  
Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE		PROGR. ELAB.	REV.	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	0544_T00OI00STRE01B	0544		
D P F I 1 0	D	1 9 0 1	CODICE ELAB. T 0 0 O I 0 0 S T R E 0 1		B	VARIE
D						
C						
B	REVISIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS	11/2020	POLITECNICA	G.APRIGLIANO	M.PALERMO	A.RENSO
A	EMISSIONE	06/2020	POLITECNICA	G.APRIGLIANO	M.PALERMO	A.RENSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
1.1	CONCEZIONE STRUTTURALE.....	2
<b>2</b>	<b>NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
2.1	NORMATIVA NAZIONALE .....	4
2.2	EUROCODICI .....	4
2.3	SOFTWARE UTILIZZATI.....	5
<b>3</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
3.1	CONGLOMERATI CEMENTIZI.....	6
3.1.1	Conglomerato cementizio magro .....	6
3.1.2	Conglomerato cementizio per muri laterali e solette.....	6
3.2	ACCIAIO PER C.A.....	6
3.2.1	Acciaio per calcestruzzo armato B450C.....	6
<b>4</b>	<b>MODELLAZIONE, ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEGLI ATTRAVERSAMENTI.....</b>	<b>7</b>
4.1	MODELLAZIONE.....	7
4.1.1	Scatolare AI.01 .....	7
4.1.2	Scatolare AI.02 .....	10
4.1.3	Scatolare AI.03 .....	12
4.1.4	Scatolare AI.04 .....	15
4.1.5	Scatolare AI.05 .....	17
4.2	ANALISI STRUTTURALE E VERIFICHE .....	20
4.3	Carichi.....	20
4.4	Verifiche .....	24
4.4.1	Scatolare AI.01 .....	26
4.4.2	Scatolare AI.02 .....	42
4.4.3	Scatolare AI.03 .....	61
4.4.4	Scatolare AI.04 .....	76
4.4.5	Scatolare AI.05 .....	92
4.5	Validazione modelli di calcolo.....	111
4.5.1	Scatolare AI.01 .....	111
4.5.2	Scatolare AI.02 .....	112

---

4.5.3	Scatolare AI.03 .....	113
4.5.4	Scatolare AI.04 .....	114
4.5.5	Scatolare AI.05 .....	115
<b>5</b>	<b>MODELLAZIONE, ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEL POZZETTO DI ISPEZIONE.....</b>	<b>117</b>
5.1	ANALISI STRUTTURALE.....	118
5.1.1	Carichi di progetto .....	118
5.1.2	Combinazioni di carico.....	123
5.1.3	Sollecitazioni SLU e verifiche.....	125
5.1.4	Sollecitazioni SLE-rara e verifiche .....	131
5.1.5	Sollecitazioni SLV .....	136

# 1 PREMESSA

La seguente relazione tratta dell'analisi e verifica strutturale di opere in c.a. di forma scatolare che hanno la funzione di drenaggio idraulico.

Tali strutture, di seguito denominati "attraversamenti idraulici" sono situati trasversalmente all'asse principale di progetto della nuova variante stradale.

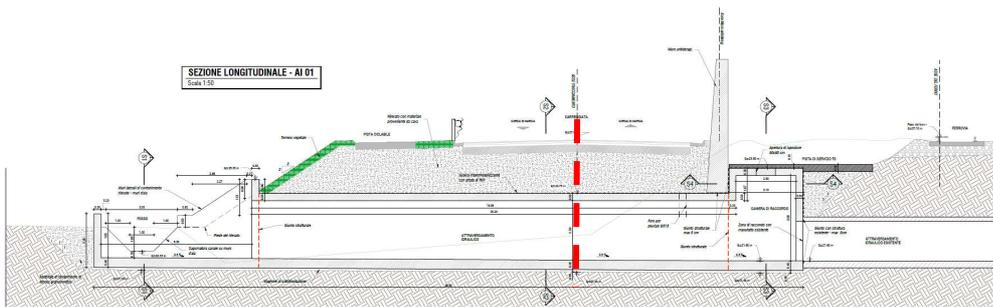
Il progetto prevede 5 attraversamenti idraulici situati tra la progressiva stradale 0+260 m e 0+ 860 m.

Questi attraversamenti verranno in una seconda fase interrati fino ad essere completamente ricoperti dal rilevato stradale che ospita la nuova sede viaria.

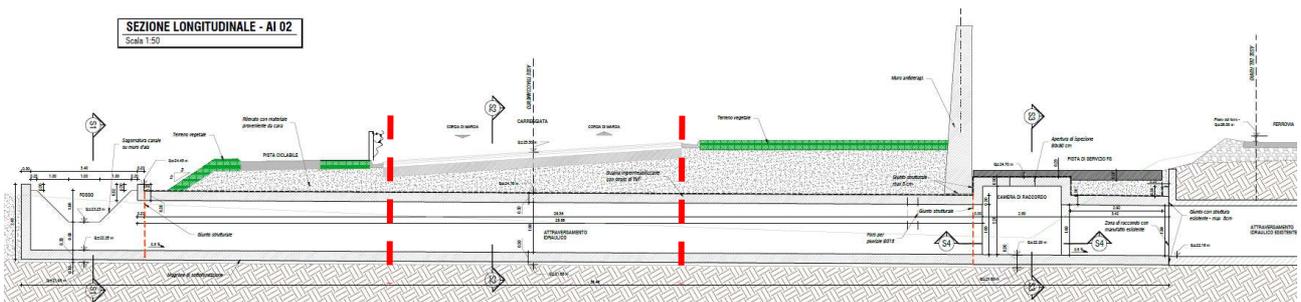
Nel progetto tutti gli attraversamenti idraulici sono definiti con la sigla AI<sub>Oi</sub> dove l'indice i varia da 1 a 5 individuando il singolo attraversamento.

Si riportano gli estratti delle tavole strutturali relative ai cinque attraversamenti, con indicazione delle sezioni di verifica. Per maggiori approfondimenti si rimanda alle tavole strutturali.

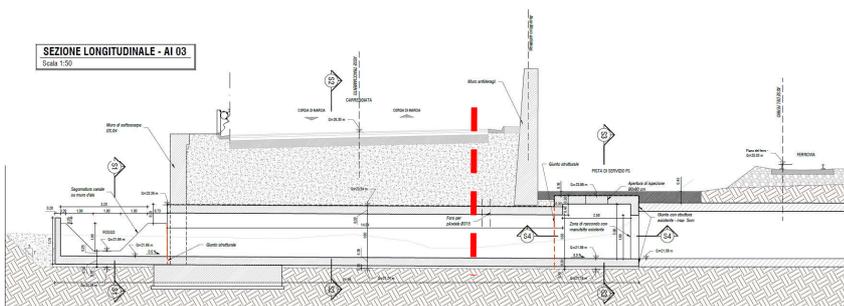
## AI.01



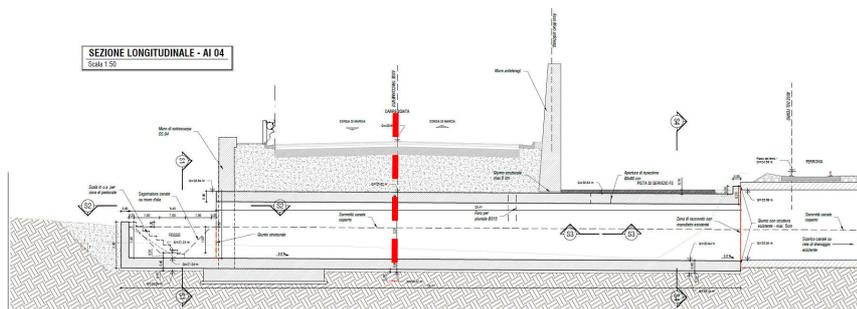
## AI.02



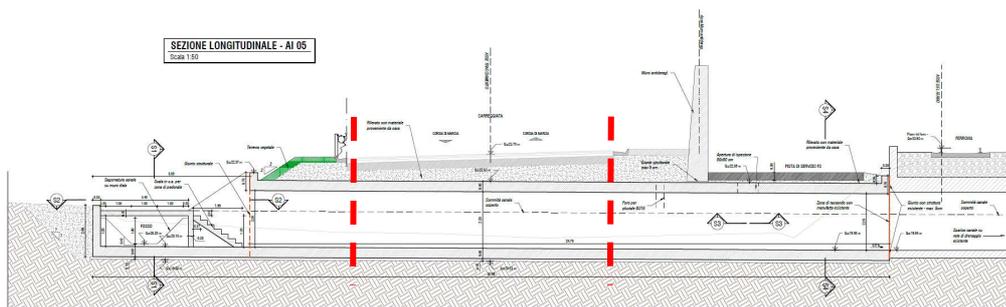
## AI.03



## AI.04



## AI.05



## 1.1 CONCEZIONE STRUTTURALE

L'idea di progetto consiste nella realizzazione di uno scatolare in c.a. che viene giuntato a monte da una struttura di raccordo con i fossi laterali del rilevato stradale, ed a valle da un pozzetto in c.a. per garantire l'ispezione.

Gli scatolari utilizzati hanno dimensioni nette:

AI1 – 2.50 x 2.50 – spessore piedritti e soletta superiore 0.3 m, spessore soletta inferiore 0.4 m.

AI2 – 1.60 x 1.60 – spessore 0.3 m.

AI3 – 1.60 x 1.60 – spessore 0.3 m.

AI4 – 3.50 x 2.20 – spessore 0.4 m.

AI5 – 3.50 x 2.20 – spessore 0.4 m.

ai primi tre attraversamenti, si attesta uno scatolare adibito a pozzetto di ispezione di dimensione in pianta pari a 2,50 x 2,50 m con spessore delle pareti pari a 0,30 m.

L'altezza di tale manufatto è fissata a:

AI1 – 2.50 x 2.50 – spessore 0.3 m – H = 3.60 m netto

AI2 – 1.60 x 1.60 – spessore 0.3 m. – H = 2.20 m netto

AI3 – 1.60 x 1.60 – spessore 0.3 m. – H = 2.00 m netto

Tale struttura è strutturalmente indipendente dallo scatolare dell'attraversamento.

In sommità della soletta di copertura, è presente un'apertura con chiusino carrabile per garantire l'ispezione

all'interno di dimensione 0,80 x 0,80 m.

Si vuol far notare che nella parte di modellazione ed analisi strutturale si è scelto di modellare il pozzetto che possiede l'altezza più elevata.

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La progettazione, il dimensionamento e le verifiche delle strutture in oggetto, sono stati redatti in ottemperanza al quadro normativo tecnico vigente, con particolare riferimento di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

**Il metodo di calcolo adottato è quello semiprobabilistico agli stati limite**, con applicazione di coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni, variabili in ragione dello stato limite indagato.

Si riporta di seguito l'elenco delle principali leggi e dei documenti a cui ci si è riferiti per la redazione della progettazione strutturale dell'opera.

### 2.1 NORMATIVA NAZIONALE

- Legge 5 Novembre 1971 n° 1086 «*Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, precompresso e per le strutture metalliche*»;
- D.M. del 17 Gennaio 2018 «*Nuove norme tecniche per le costruzioni*» di seguito denominate NTC.
- Circolare Consiglio Sup. LL.PP. 21 Gennaio 2019 n° 7 «*Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17 Gennaio 2018*».

### 2.2 EUROCODICI

- UNI EN 1991-1-5:2004 «*Eurocodice 1: Azioni sulle strutture – Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche*»;
- UNI EN 1991-2:2005 «*Eurocodice 1: Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti*»;
- UNI EN 1992-2:2006 «*Eurocodice 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi*»;
- UNI EN 1993-2:2007 «*Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti di acciaio*»;
- UNI EN 1993-1-5:2007 «*Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra*»;
- UNI EN 1994-2:2006 «*Eurocodice 4: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Parte 2: Regole generali e regole per i ponti*»;
- UNI EN 1998-2:2006 «*Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti*».

## 2.3 SOFTWARE UTILIZZATI

I software utilizzati per i calcoli delle opere in esame sono di seguito indicati:

- Microsoft Excel ( fogli di calcolo );
- Software suite Gelfi (software per il calcolo e verifica delle sezioni in c.a. e d acciaio)
- SAP 2000 V. 21 (Software di calcolo agli elementi finiti)

### 3 MATERIALI

#### 3.1 CONGLOMERATI CEMENTIZI

##### 3.1.1 Conglomerato cementizio magro

- Classe di resistenza: C12/15 ( $R_{ck} \geq 15 \text{ N/mm}^2$ )

##### 3.1.2 Conglomerato cementizio per muri laterali e solette

- Classe di resistenza: C32/40 ( $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ )
  - Resistenza caratt. a compress. cilindrica: (DM 14.01.2018 p.to 11.2.10.1)  $f_{ck} = 32.0 \text{ N/mm}^2$
  - Resistenza media a trazione semplice: (DM 14.01.2018 p.to 11.2.10.2)  $f_{ctm} = 3.02 \text{ N/mm}^2$
  - Modulo d'elasticità: (DM 14.01.2018 p.to 11.2.10.3)  $E_{cm} = 33346 \text{ N/mm}^2$
  - Resistenza di calcolo a compressione: (DM 14.01.2018 p.to 4.1.2.1)  $f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2$
  - Resistenza di calcolo a trazione: (DM 14.01.2018 p.to 4.1.2.1)  $f_{ctd} = 1.41 \text{ N/mm}^2$
  - Tensione massima per cmb. rara: (DM 14.01.2018 p.to 4.1.2.2.5)  $\sigma_{c,rara} = 19.2 \text{ N/mm}^2$
  - Tensione massima per cmb. quasi perm.: (DM 14.01.2018 p.to 4.1.2.2.5)  $\sigma_{c,q,perm} = 14.4 \text{ N/mm}^2$
- Classe di esposizione: XC4
- Copriferro netto minimo (filo esterno armatura più esterna): 40 mm

#### 3.2 ACCIAIO PER C.A.

##### 3.2.1 Acciaio per calcestruzzo armato B450C

- Resistenza caratt. di snervamento: (DM 14.01.2018 p.to 11.3.2.1)  $f_{yk} = 450.00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratt. di rottura: (DM 14.01.2018 p.to 11.3.2.1)  $f_{tk} = 540.00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo: (DM 14.01.2018 p.to 4.1.2.1)  $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$
- Tensione massima per cmb. rara: (DM 14.01.2018 p.to 4.1.2.2.5)  $\sigma_{s,rara} = 360.00 \text{ N/mm}^2$

## 4 MODELLAZIONE, ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEGLI ATTRAVERSAMENTI

L'analisi strutturale delle opere in oggetto ha preso in considerazione i carichi permanenti e variabili previsti dalla normativa applicata. Sono stati valutati gli stati sollecitativi di tutti gli elementi strutturali che compongono le opere. Per tutti gli elementi si riportano in allegato le sollecitazioni allo SLU e allo SLE derivanti dalle azioni statiche e sismiche combinate.

La geometria della struttura è stata definita mediante l'assegnazione delle coordinate geometriche dei nodi della struttura rispetto ad un sistema di riferimento fisso cartesiano ortogonale destrorso XYZ; tale riferimento ha gli assi X e Y orizzontali e l'asse Z verticale ascendente.

Le strutture (contenute nel piano verticale XZ) sono state poi modellate mediante elementi finiti monodimensionali (di tipo "frame")

Per ogni elemento del modello strutturale s'individua, inoltre, un sistema di riferimento locale rispetto al quale sono state assegnate le proprietà geometriche ed inerziali ed i carichi sull'elemento, e rispetto al quale è fornita la risposta (in termini di spostamenti dei nodi e di caratteristiche di sollecitazione) dal codice di calcolo.

Gli assi del riferimento locale sono contrassegnati dalle lettere xyz e il loro orientamento rispetto al riferimento globale XYZ è assegnato in modo che il primo asse (x) è diretto secondo l'asse dell'elemento, mentre gli altri due assi (y, z) giacciono in un piano ortogonale all'elemento e che viene definita dall'utente.

### 4.1 MODELLAZIONE

Al fine del dimensionamento delle strutture oggetto della presente relazione si decide di utilizzare, in modo cautelativo, un modello di calcolo piano per ogni manufatto analizzato, dato che questi hanno sezione trasversale costante lungo tutto lo sviluppo longitudinale.

Per la determinazione dei carichi permanenti della piattaforma stradale e del terreno di ricoprimento si sono considerati i seguenti pesi specifici:

- Piattaforma stradale (da qui in avanti denominata "pavimentazione"): 24 kN/m<sup>3</sup>;
- Terreno di ricoprimento: 20 kN/m<sup>3</sup>.

Considerando uno spessore di 0.50 per la piattaforma stradale, si ottiene un carico uniformemente distribuito pari a 12 kN/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.1 Scatolare AI.01

Si riportano di seguito le viste unifilare ed estreusa del modello strutturale analizzato.

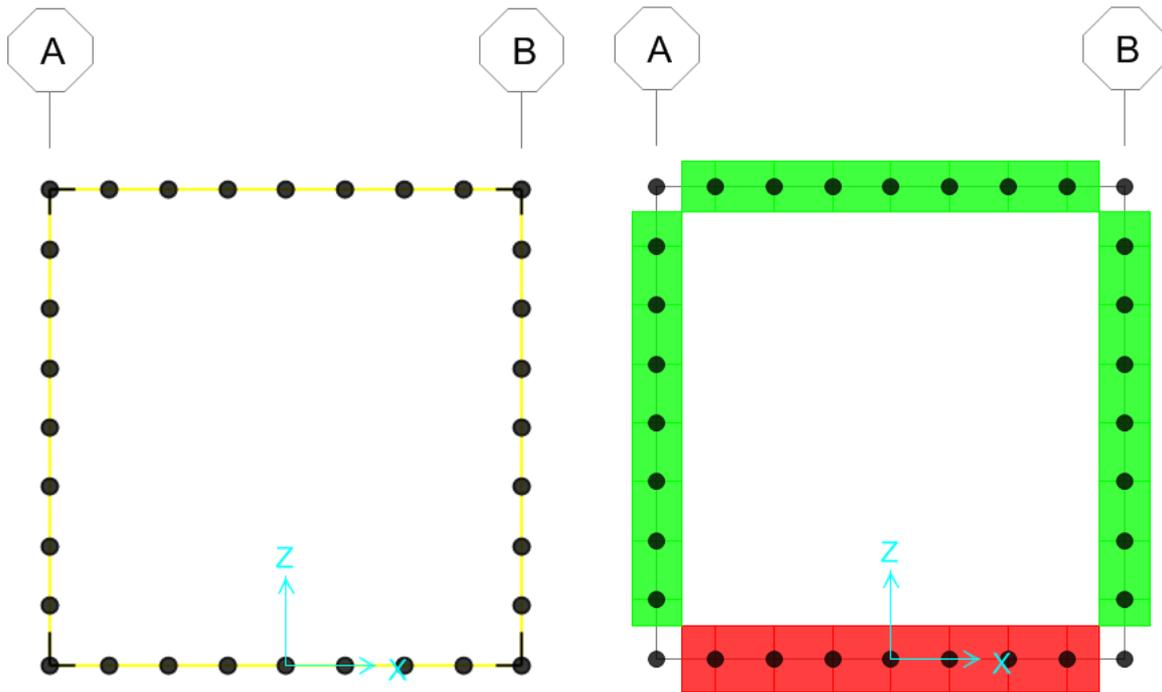
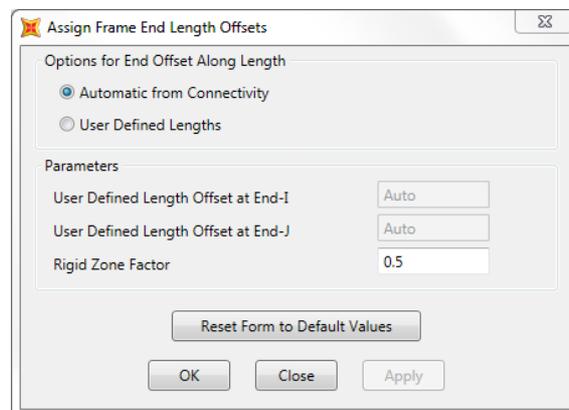


Figura 1 – Vista assi scatolare (sinistra) ed estrusa (destra) – Modello FEM.

In prossimità dei nodi sono state considerate le effettive End-Offset, automaticamente computate dal programma di calcolo assegnando un coefficiente di rigidità pari a 0.5.



La numerazione dei nodi e delle aste che costituiscono il modello sono riportati nelle figure che seguono.

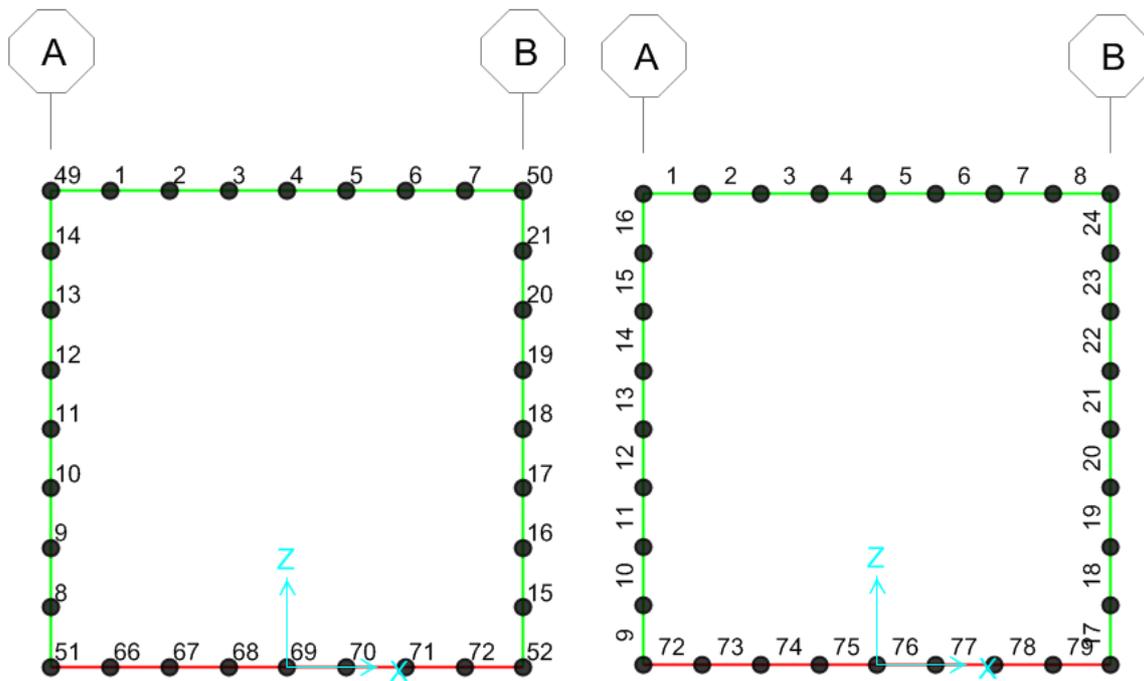


Figura 2 – Numerazione Joints (sinistra) e Frames (destra) – Modello FEM.

I nodi di base della soletta di fondazione risultano vincolati mediante vincoli traslazionali orizzontali e molle verticali, la cui costante elastica è esplicitata di seguito:

#### Costante di Winkler molle verticali

c	3 kg/cm <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale
c	30000 kN/m <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale (SI)
c_SAPc	10500 kN/m	Winkler verticale zona centrale
c_SAPb	31500 kN/m	Winkler verticale vertici
Bc	0.35 m	Interasse joints zona centrale
S	1 m	Spessore frame

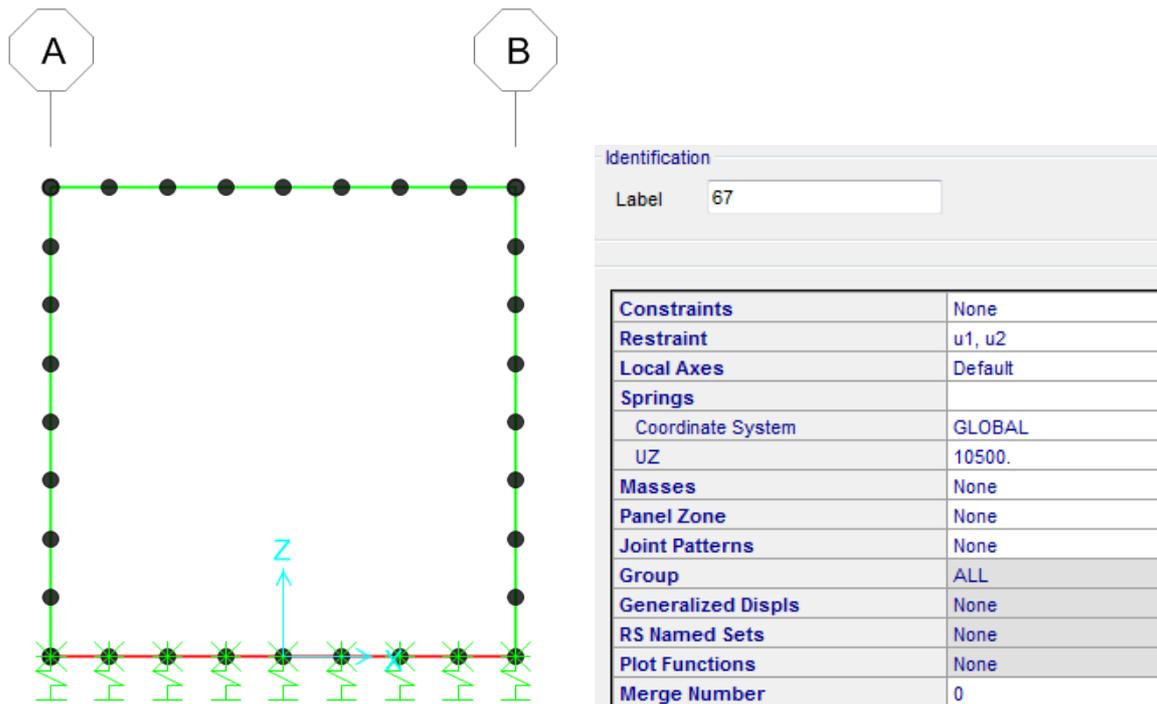


Figura 3 – Restraints e Joint Springs (sinistra) e generica assegnazione proprietà (destra) – Modello FEM.

#### 4.1.2 Scatolare AI.02

Si riportano di seguito le viste unifilare ed estrusa del modello strutturale analizzato.

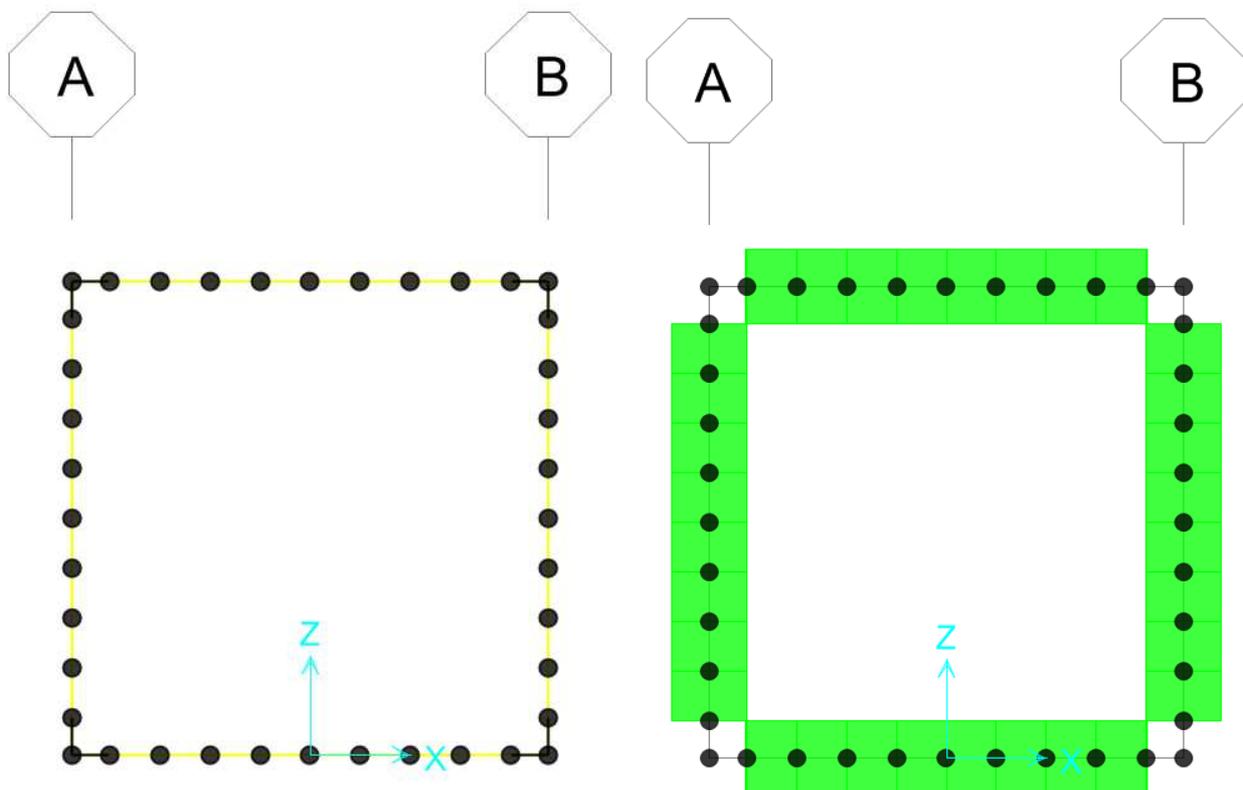
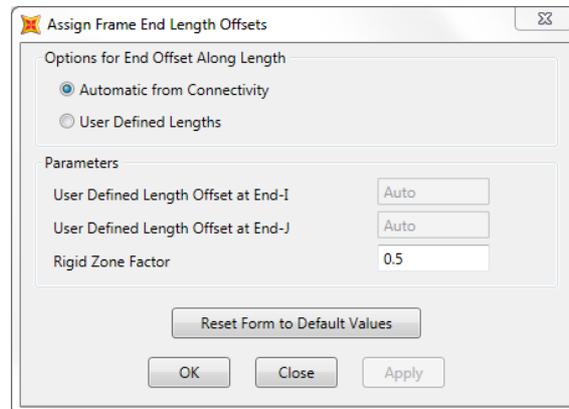


Figura 4 – Vista assi scatolare (sinistra) ed estrusa (destra) – Modello FEM.

In prossimità dei nodi sono state considerate le effettive End-Offset, automaticamente computate dal programma di calcolo assegnando un coefficiente di rigidità pari a 0.5.



La numerazione dei nodi e delle aste che costituiscono il modello sono riportati nelle figure che seguono.

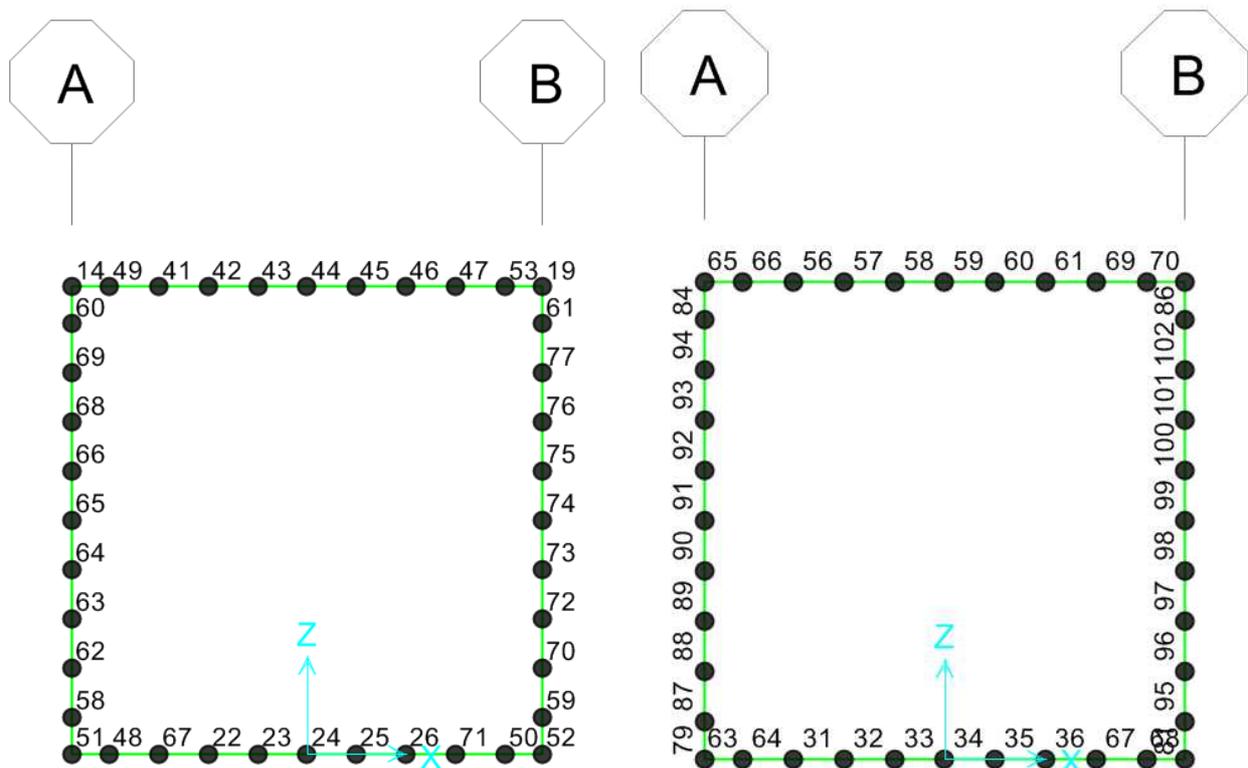


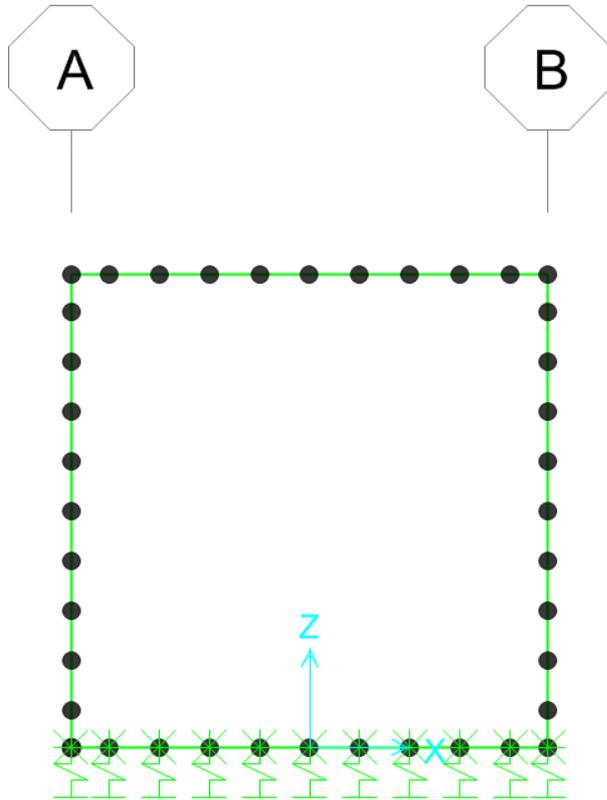
Figura 5 – Numerazione Joints (sinistra) e Frames (destra) – Modello FEM.

I nodi di base della soletta di fondazione risultano vincolati mediante vincoli traslazionali orizzontali e molle verticali, la cui costante elastica è esplicitata di seguito:

**Costante di Winkler molle verticali**

c	3 kg/cm <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale
c	30000 kN/m <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale (SI)
c_SAPc	6000 kN/m	Winkler verticale zona centrale

c_SAPb	<b>18000</b> kN/m	Winkler verticale vertici
Bc	0.2 m	Interasse joints zona centrale
S	1 m	Spessore frame



Identification	
Label	67
Constraints	None
Restraint	u1, u2
Local Axes	Default
Springs	
Coordinate System	GLOBAL
UZ	6000.
Masses	None
Panel Zone	None
Joint Patterns	None
Group	ALL
Generalized Displs	None
RS Named Sets	None
Plot Functions	None
Merge Number	0

Double click white background cell to edit item.

Figura 6 – Restraints e Joint Springs (sinistra) e generica assegnazione proprietà (destra) – Modello FEM.

### 4.1.3 Scatolare AI.03

Si riportano di seguito le viste unifilare ed estreusa del modello strutturale analizzato.

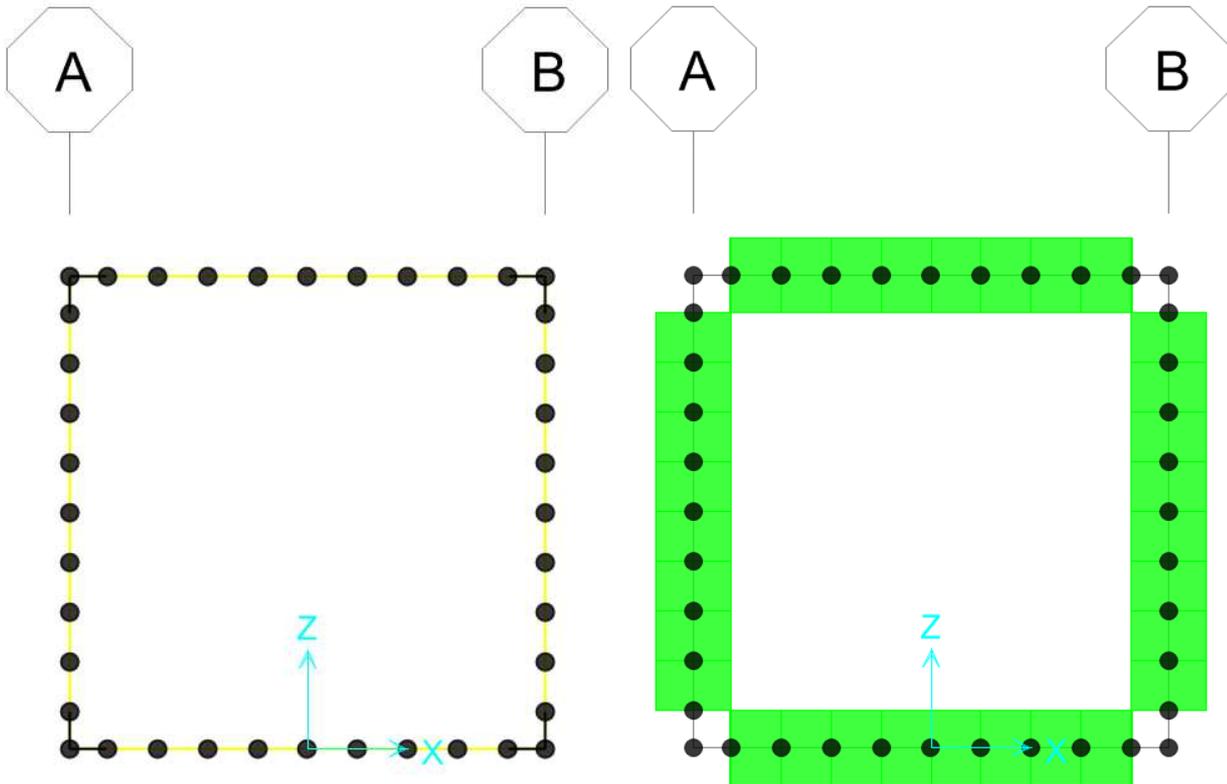
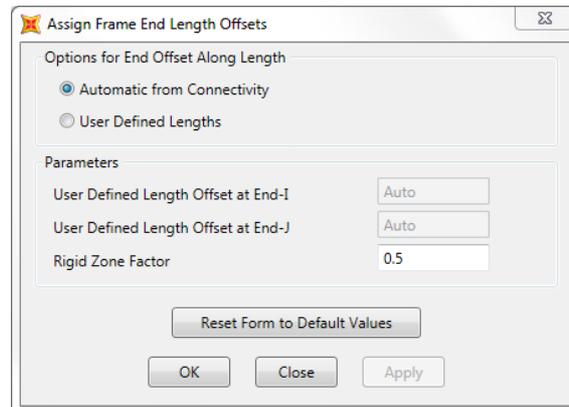


Figura 7 – Vista assi scatolare (sinistra) ed estrusa (destra) – Modello FEM.

In prossimità dei nodi sono state considerate le effettive End-Offset, automaticamente computate dal programma di calcolo assegnando un coefficiente di rigidità pari a 0.5.



La numerazione dei nodi e delle aste che costituiscono il modello sono riportati nelle figure che seguono.

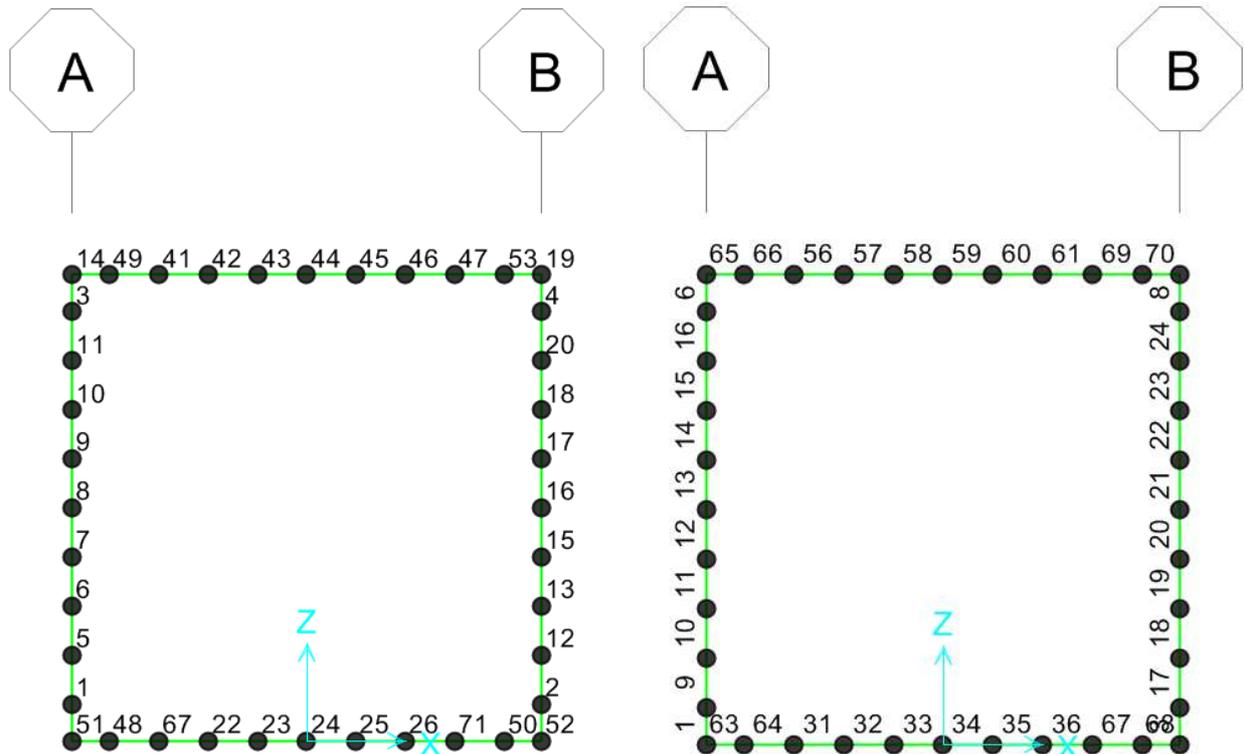


Figura 8 – Numerazione Joints (sinistra) e Frames (destra) – Modello FEM.

I nodi di base della soletta di fondazione risultano vincolati mediante vincoli traslazionali orizzontali e molle verticali, la cui costante elastica è esplicitata di seguito:

**Costante di Winkler molle verticali**

c	3 kg/cm <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale
c	30000 kN/m <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale (SI)
c_SAPc	<b>6000</b> kN/m	Winkler verticale zona centrale
c_SAPb	<b>18000</b> kN/m	Winkler verticale vertici
Bc	0.2 m	Interasse joints zona centrale
S	1 m	Spessore frame

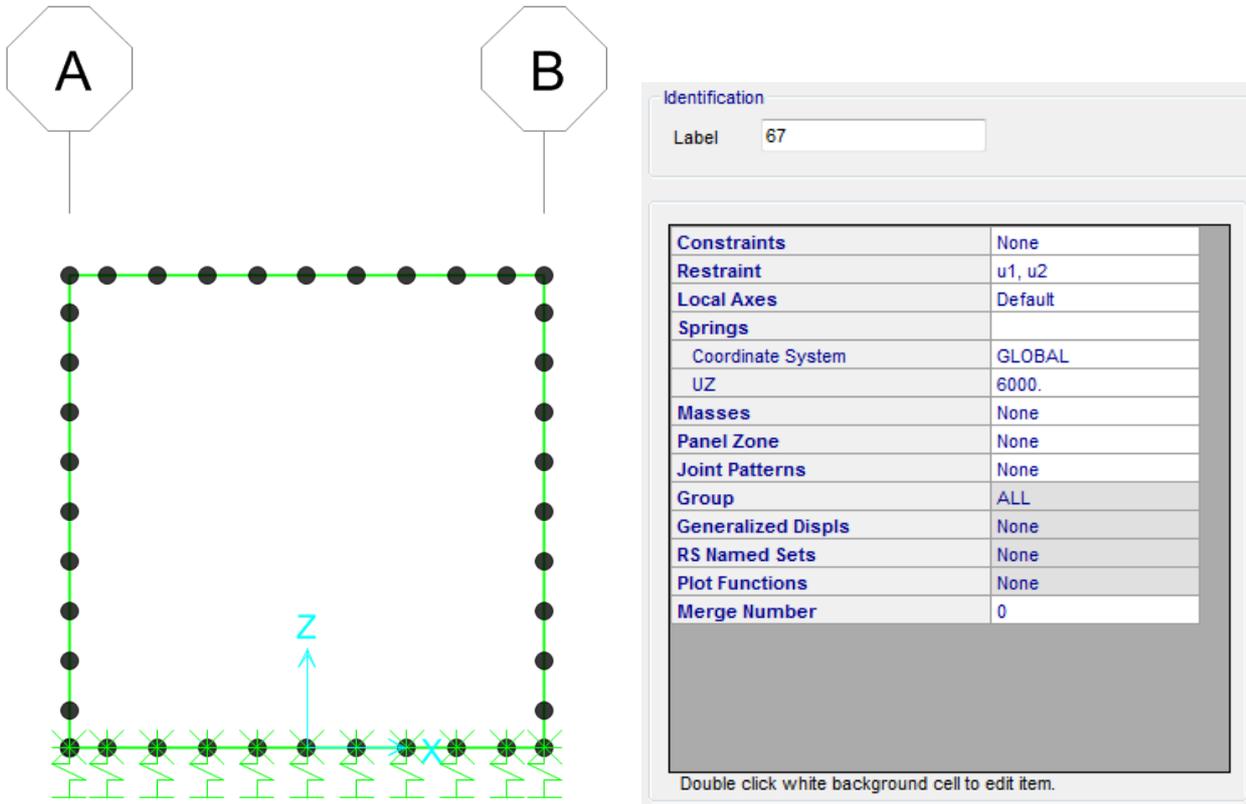


Figura 9 – Restraints e Joint Springs (sinistra) e generica assegnazione proprietà (destra) – Modello FEM.

#### 4.1.4 Scatolare AI.04

Si riportano di seguito le viste unifilare ed estrusa del modello strutturale analizzato.

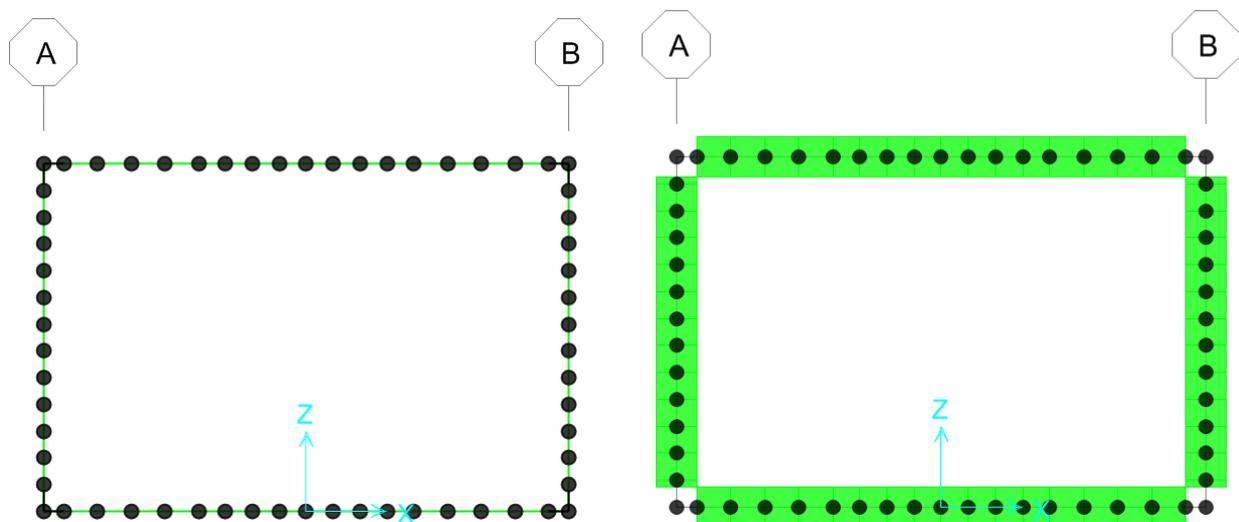
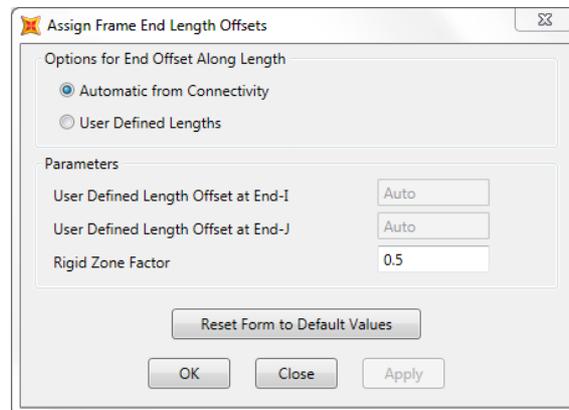


Figura 10 – Vista assi scatolare (sinistra) ed estrusa (destra) – Modello FEM.

In prossimità dei nodi sono state considerate le effettive End-Offset, automaticamente computate dal programma di calcolo assegnando un coefficiente di rigidità pari a 0.5.



La numerazione dei nodi e delle aste che costituiscono il modello sono riportati nelle figure che seguono.

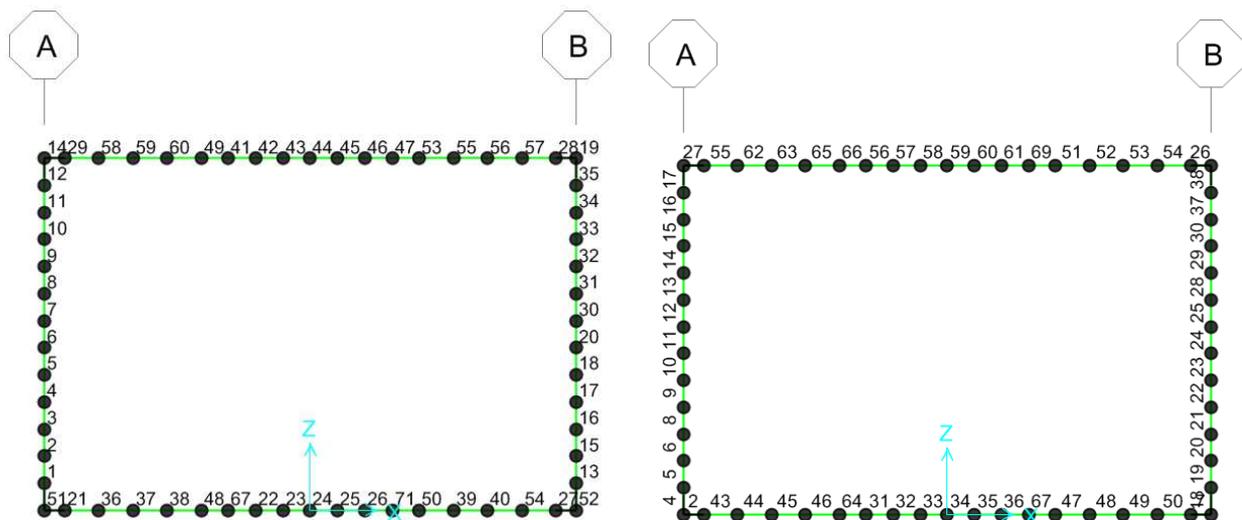


Figura 11 – Numerazione Joints (sinistra) e Frames (destra) – Modello FEM.

I nodi di base della soletta di fondazione risultano vincolati mediante vincoli traslazionali orizzontali e molle verticali, la cui costante elastica è esplicitata di seguito:

**Costante di Winkler molle verticali**

c	3 kg/cm <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale
c	30000 kN/m <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale (SI)
c_SAPc	6000 kN/m	Winkler verticale zona centrale
c_SAPb	18000 kN/m	Winkler verticale vertici
Bc	0.2 m	Interasse joints zona centrale
S	1 m	Spessore frame

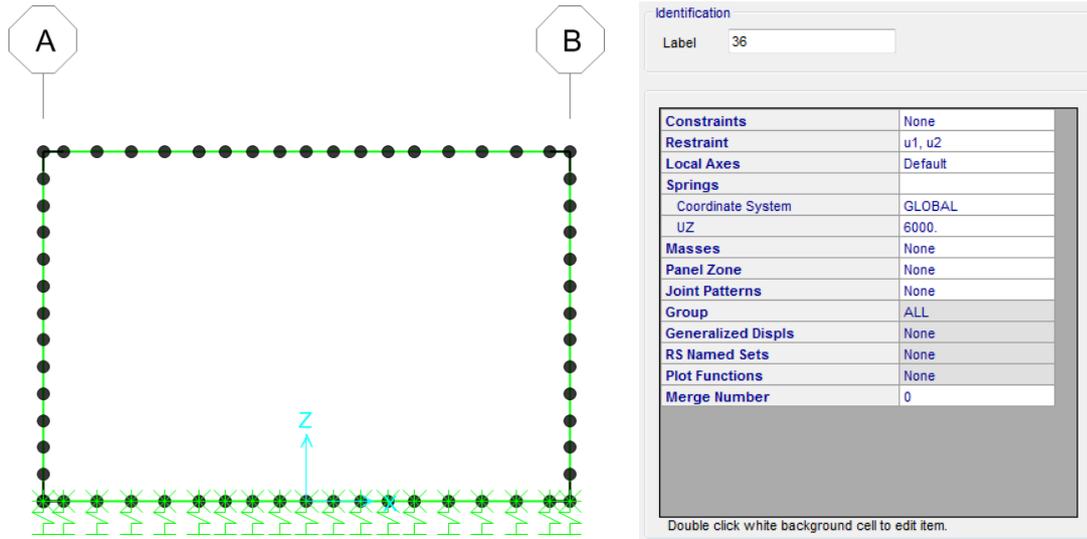


Figura 12 – Restraints e Joint Springs (sinistra) e generica assegnazione proprietà (destra) – Modello FEM.

#### 4.1.5 Scotolare AI.05

Si riportano di seguito le viste unifilare ed estreusa del modello strutturale analizzato.

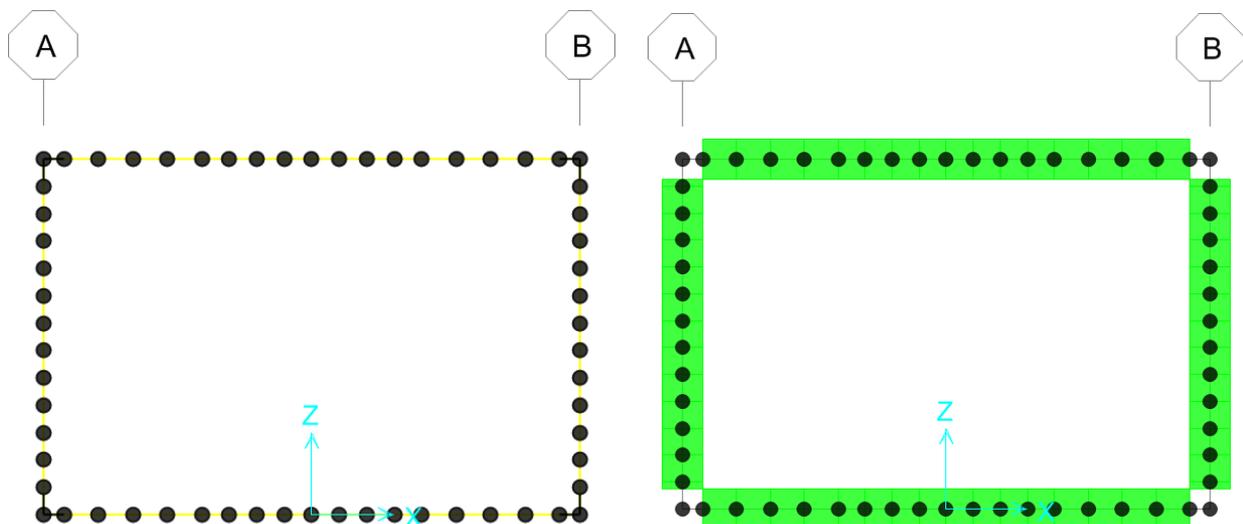
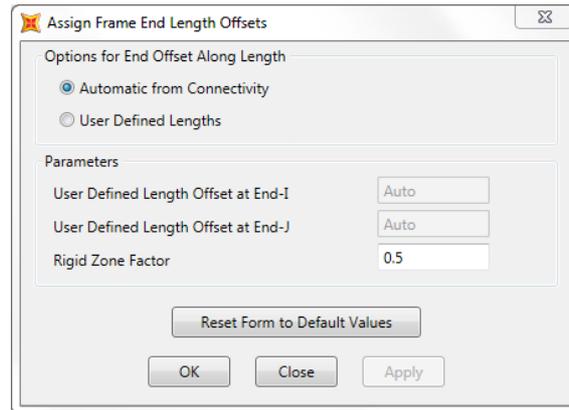


Figura 13 – Vista assi scotolare (sinistra) ed estrusa (destra) – Modello FEM.

In prossimità dei nodi sono state considerate le effettive End-Offset, automaticamente computate dal programma di calcolo assegnando un coefficiente di rigidezza pari a 0.5.



La numerazione dei nodi e delle aste che costituiscono il modello sono riportati nelle figure che seguono.

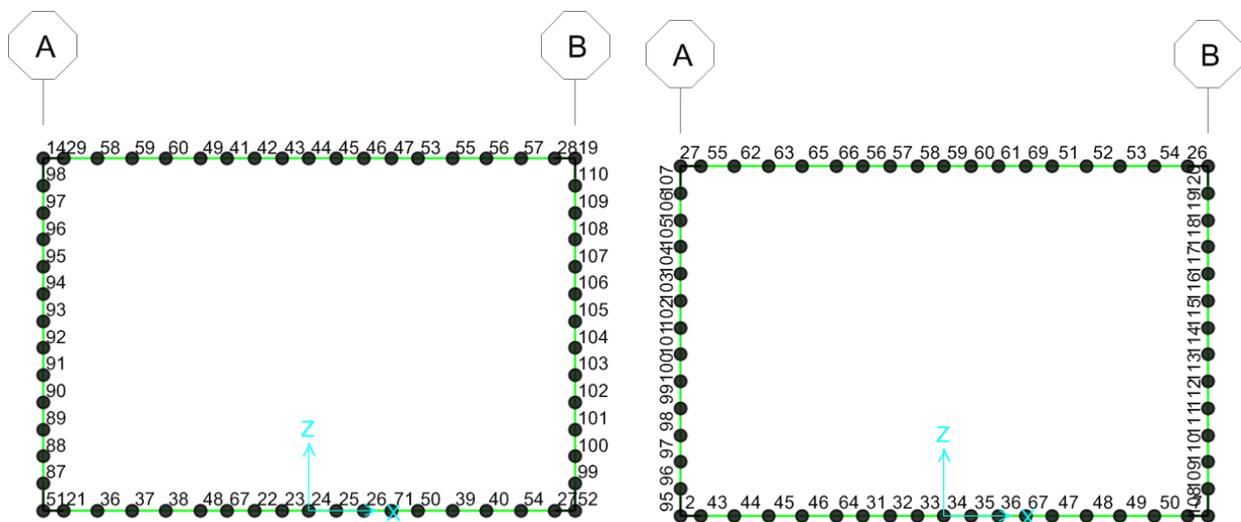


Figura 14 – Numerazione Joints (sinistra) e Frames (destra) – Modello FEM.

I nodi di base della soletta di fondazione risultano vincolati mediante vincoli traslazionali orizzontali e molle verticali, la cui costante elastica è esplicitata di seguito:

**Costante di Winkler molle verticali**

c	3 kg/cm <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale
c	30000 kN/m <sup>3</sup>	Costante di Winkler verticale (SI)
c_SAPc	6000 kN/m	Winkler verticale zona centrale
c_SAPb	18000 kN/m	Winkler verticale vertici
Bc	0.2 m	Interasse joints zona centrale
S	1 m	Spessore frame

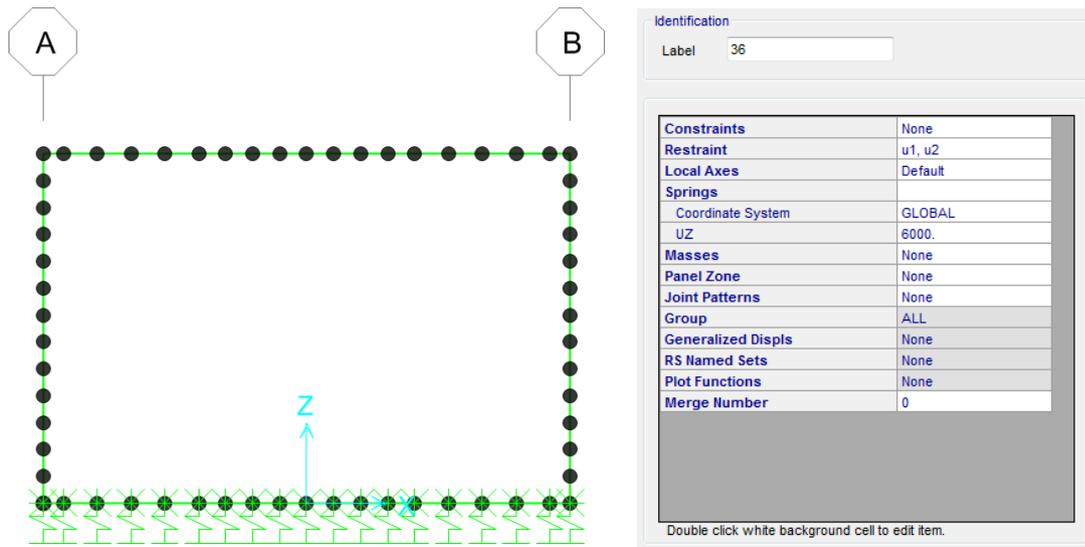


Figura 15 – Restraints e Joint Springs (sinistra) e generica assegnazione proprietà (destra) – Modello FEM.

## 4.2 ANALISI STRUTTURALE E VERIFICHE

Le azioni considerate sono riassunte in seguito. I carichi applicati a ogni manufatto sono indicati nei paragrafi specifici.

Si vuol far notare che nel modello strutturale tutti i carichi inseriti sono modellati come unitari attraverso i rispettivi “load cases”. L’entità del carico è inserita per mezzo di un fattore moltiplicativo presente nelle combinazioni riportate per ogni opera analizzata, sfruttando la linearità del comportamento e dell’analisi.

## 4.3 Carichi

### Azioni permanenti

Le azioni permanenti sono costituite dai pesi propri delle strutture portanti e delle sovrastrutture.

Secondo il p.to 5.1.3.1. del D.M. 17.01.2018, comprendono:

- g<sub>1</sub> peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali;
- g<sub>2</sub> carichi permanenti portati (eventuali rinterrati e elementi accessori);
- g<sub>3</sub> altre azioni permanenti (spinta terre).

Per quanto riguarda i carichi permanenti e strutturali portati questi, equivalgono al peso proprio del cls (25 kN/mc). I pesi propri vengono calcolati direttamente dal software.

Per quanto riguarda la spinta del terreno l’entità e la distribuzione di questa dipendono sostanzialmente dallo spostamento relativo che lo stesso può subire; si considera che le deformazioni del terreno siano impedita dalla struttura che non cede in nessun punto, per cui la pressione esercitata è una spinta a riposo espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0$$

K<sub>0</sub> rappresenta il coefficiente di spinta a riposo mentre φ è l’angolo di resistenza a taglio del terreno. Per il calcolo del manufatto si ipotizza un terreno di rinfianco con le seguenti caratteristiche:

Peso specifico terreno	20.00 kN/m <sup>3</sup>
angolo di attrito interno	φ = 33°
K <sub>0</sub> =0.455	coefficiente di spinta a riposo

Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto.

Per il caso in esame la distribuzione delle pressioni viene inserita direttamente sugli elementi bidimensionali tramite apposita funzione del software.

### Azioni variabili da traffico

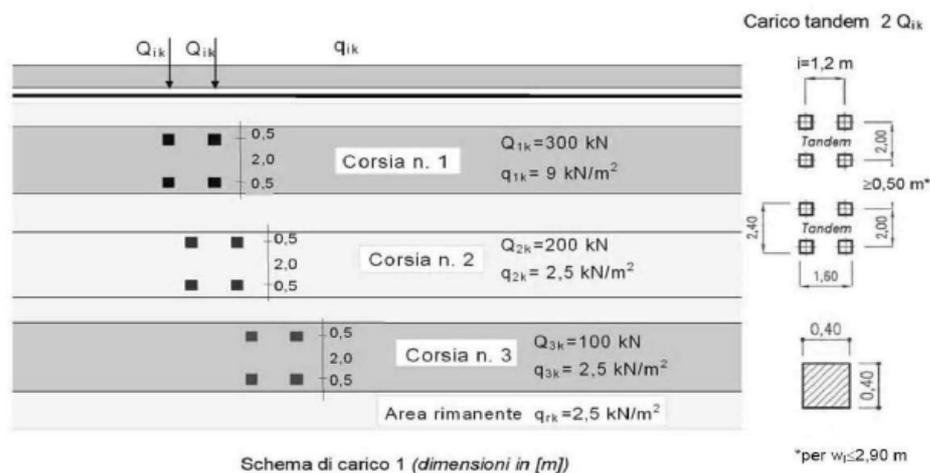
Sono definite al p.to 5.1.3.3 del D.M. 17.01.2018 e sono state posizionate in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli ai fini del dimensionamento delle membrature del manufatto e delle sottostrutture (fondazioni).

Tenuto conto che al fine del dimensionamento della struttura scatolare, si adotterà a favore di sicurezza un modello piano adottando come dimensionante lo schema di Carico 1, costituito da carichi concentrati su due assi di tandem, e da un carico distribuito così definito:

$q_1$  carichi mobili, comprensivi degli effetti dinamici, definiti dai seguenti schemi di carico (p.to 5.1.3.3):

- schema di carico 1 (verifiche globali e locali):

- $Q_{1.1.1}$  passaggio del carico mobile su due assi da 300 kN in tandem sulla corsia 1;
- $q_{1.1.1}$  carico da 9,0 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito sulla corsia 1;
- $Q_{1.1.2}$  passaggio del carico mobile su due assi da 200 kN in tandem sulla corsia 2;
- $q_{1.1.2}$  carico da 2,5 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito sulla corsia 2;
- $Q_{1.1.3}$  passaggio del carico mobile su due assi da 100 kN in tandem sulla corsia 3;
- $q_{1.1.3}$  carico da 2,5 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito sulla corsia 3;
- $q_{1.1.R}$  carico da 2,5 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito sull'area rimanente;



Per quanto riguarda la diffusione dei carichi concentrati, indicando con  $S$  lo spessore del ricoprimento e con  $\alpha$  l'angolo di diffusione del carico,  $Q_{1k}$  agente in corrispondenza del piano stradale, si ripartirà su una superficie di ampiezza pari a  $2xS \times \tan(\alpha)$ . Si considera un angolo di diffusione pari a  $\alpha_1 = 30^\circ$  nello strato di pavimentazione stradale ed attraverso il terreno, mentre si adotterà  $\alpha_1 = 45^\circ$  in corrispondenza dello strato di soletta in c.a.

Le azioni dovute al frenamento non sono state prese in conto dato l'elevato spessore del terreno di ricoprimento.

Considerando una striscia di scatolare di 1 m ed il fatto che il traffico attraversa gli scatolari perpendicolarmente, soltanto l'asse tandem da 300 kN, opportunamente diffuso attraverso gli strati di cui sopra, sarà preso in considerazione.



L'azione sismica è determinata in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018, riferimento normativo cui si riferiscono tutti i richiami riportati nel seguito del presente paragrafo, salvo ove diversamente indicato.

Parametri generali

I parametri generali, caratteristici della struttura e dell'ubicazione dell'intervento, atti a definire gli spettri di progetto risultano essere i seguenti:

- |                                                       |                                             |                  |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|
| 1. Ubicazione:                                        | Lat. 44.035443 N, Long. 10.139322 E (WGS84) |                  |
| 2. Tipo di Terreno (p.to 3.2.2)                       |                                             | C                |
| 3. Categoria topografica (p.to 3.2.3.2.1)             |                                             | T1 ( $S_T=1.0$ ) |
| 4. Vita nominale della costruzione $V_N$ (p.to 2.4.1) |                                             | 50 anni          |
| 5. Classe d'uso (p.to 2.4.2)                          |                                             | IV ( $C_U=2.0$ ) |
| 6. Classe di duttilità (p.to 7.2.1)                   |                                             | Bassa            |
| 7. Smorzamento Viscoso $\xi$ (p.to 3.2.3.2.1)         |                                             | 0.05             |

STATO LIMITE	$V_N$ [anni]	$C_U$	$V_R$ [anni]	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$
SLV	50	2	100	949	0.175	2.375	0.299

**Incremento di spinta sismica del terreno**

Gli incrementi di spinta sismica del terreno si calcolano secondo quanto indicato al p.to 7.11.6.2.1 del D.M. 17/01/2018. Per manufatti come gli scatolari, le analisi in condizioni sismiche, possono essere eseguite mediante i metodi pseudostatici.

L'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente ottenuta dal prodotto delle forze di gravità per i valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali, valutati mediante le espressioni:

$$K_h = \beta_m \cdot a_{max} / g = 0.254 \text{ (SLV)}$$

dove:

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

L'accelerazione massima è valutata con la relazione

$$a_{max} = S_S S_T a_g / g$$

In cui  $S_S = 1.45$ ;  $S_T = 1$

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate in modo tale che non possa svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, il coefficiente  $\beta_m$ , assume valore unitario ed il calcolo dell'incremento dinamico di spinta del terreno può essere effettuato con il metodo di Wood; tale metodo fornisce una sovraspinta sismica uniforme del terreno sulle pareti interrato calcolata come:

$$\Delta P_d = k_h \gamma H^2$$

con punto di applicazione a metà dell'altezza H del muro, il che equivale ad applicare una pressione uniforme

$$\Delta p_d = k_h \gamma H$$

con:

$\gamma$  = peso specifico del terreno di rilevato che interessa il setto verticale, nel caso in esame è pari a 20 kN/mc;

La normativa prescrive di applicare separatamente la spinta statica e dinamica, quest'ultima come sovraspinta sismica.

### **Forze inerziali**

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai pesi propri, ai sovraccarichi permanenti, e considerando il valore quasi permanente delle masse corrispondenti ai carichi da traffico: l'opera in oggetto non rientra infatti fra i ponti in zona urbana di intenso traffico, per i quali si deve considerare un valore non nullo di dette masse.

In condizioni sismiche l'opera è soggetta alle forze di inerzia, degli elementi strutturali e delle porzioni di terreno solidali con la struttura, calcolate come:

$$F_{hi} = k_h W$$

$$F_{vi} = k_v W$$

essendo W il peso dell'elemento o della porzione di terreno, mentre  $k_v = 0.5k_h$  e  $k_h$  sono i coefficienti di intensità sismica verticale ed orizzontali descritti nel precedente paragrafo. Tali forze sono applicate nel baricentro delle masse dell'elemento considerato. La presenza di terreno interessa solo i volumi giacenti sopra gli oggetti trasversali della platea.

Nelle immagini seguenti si riportano i valori di spinta inerziale orizzontale e verticale rispettivamente.

## **4.4 Verifiche**

Le verifiche delle sezioni in c.a delle membrature degli scatolari sono state condotte in riferimento alle seguenti sezioni:

- Sezione S1: incastro piedritto fondazione;
- Sezione S2: sezione in campata traverso;
- Sezione S3: incastro traverso sup. piedritto;
- Sezione S4: sezione di incastro soletta di fondazione/piedritto.

La figure che segue riporta uno schema per la localizzazione delle sezioni precedentemente riportate.

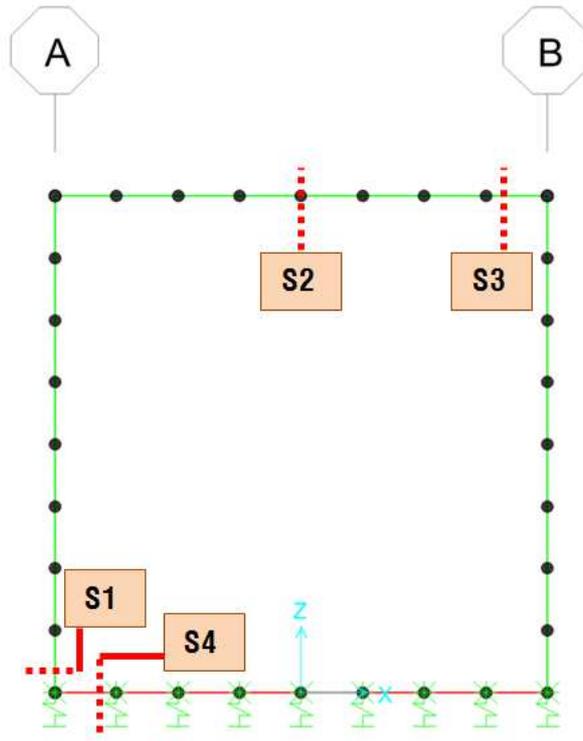


Figura 17 – Sezioni ( $S_i$ ,  $i=1, \dots, 4$ ) di verifica.

#### 4.4.1 Scatolare AI.01

##### 4.4.1.1 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito l'analisi dei carichi e la loro applicazione al modello di calcolo in oggetto.

##### Azioni permanenti

Le figure seguenti mostrano l'applicazione dei carichi permanenti al modello unifilare. Come precedentemente riportato, i carichi sono applicati come unitari. I valori dei carichi di progetto sono inseriti come coefficiente di combinazione.

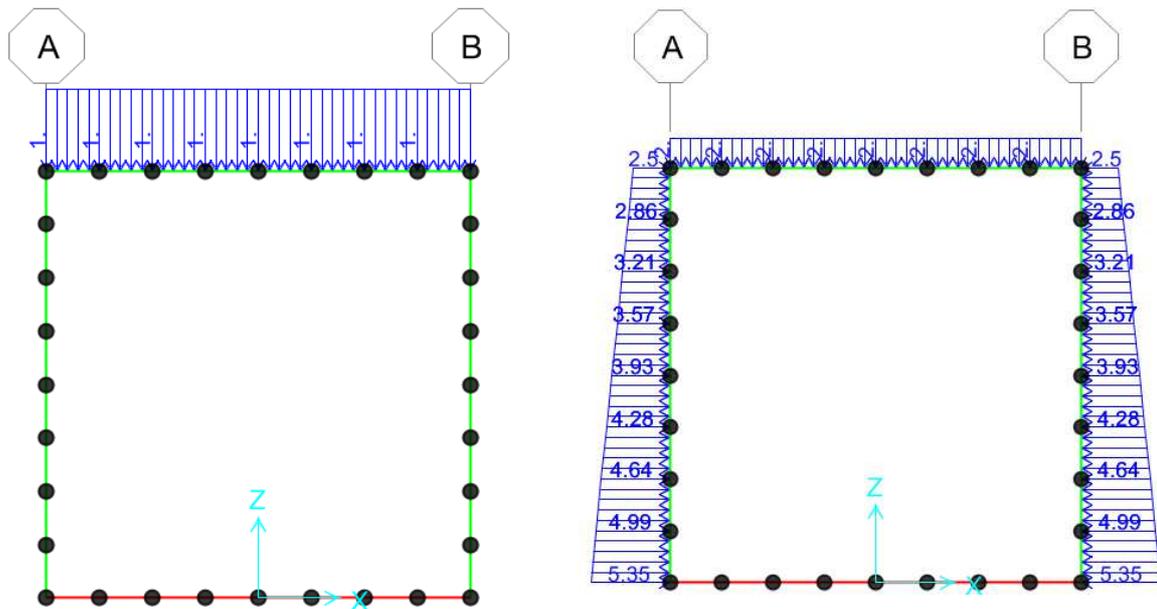


Figura 18 – Carichi permanenti: pavimentazione (sinistra), terreno (destra).

Si fa notare che per l'applicazione del carico del terreno sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Peso proprio del terreno sulla soletta superiore: sopra la soletta superiore grava uno spessore di terreno di circa 2.00 m (approssimazione per eccesso);
- Spinta a riposo del terreno sulle pareti laterali: il vertice superiore dello scatolare si trova alla profondità di 2.50 m.

I carichi sopraesposti sono esplicitati di seguito:

<b>_G1</b>	<b>91.8</b> kN/m	<b>Peso proprio</b> (computato automaticamente)
<b>0_DEAD</b>	91.75 kN/m	
<b>V</b>	3.67 m <sup>3</sup> /m	
<b>γ<sub>c</sub></b>	25 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico c.a.
<b>_G2</b>	<b>52.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	40 kN/m	
<b>p</b>	2 m	profondità terreno
<b>d</b>	1.0 m	striscia un metro
<b>γ<sub>s</sub></b>	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno

<b>1_Pavimentazione</b>	12 kN/m	
sp	0.5 m	spessore pacchetto pavimentazione
d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	24 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
<b>_G3</b>	<b>35.7 kN/m</b>	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	35.7 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
k0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
h1	-2.5 m	profondità asse soletta di copertura
hs	2.85 m	altezza parete ritto (asse-asse)
h2	-5.35 m	profondità asse soletta di base

**Azioni variabili da traffico**

Dato l'elevato spessore di terreno al di sopra della soletta superiore dello scatolare, la diffusione delle impronte di carico porta alla definizione di un carico costante agente sulla soletta stessa.

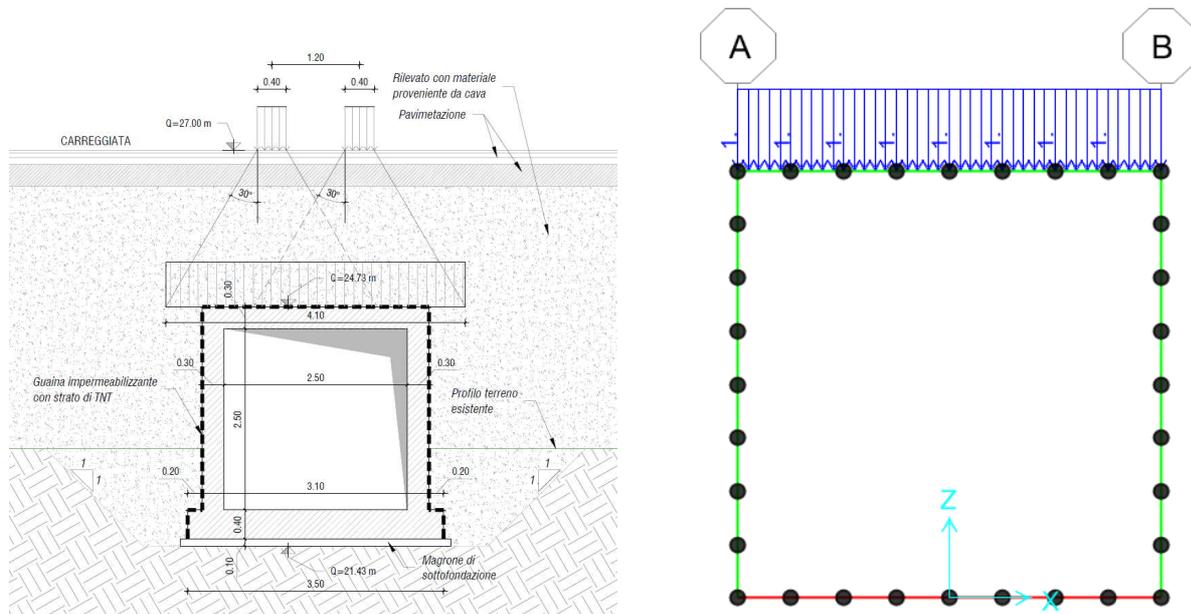


Figura 19 – Carichi da traffico – asse tandem (Schema 1).

<b>_Q traffico_AXI</b>	<b>75 kN/m</b>	carico assiale diffuso
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	4 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q traffico_DIS</b>	<b>9 kN/m</b>	carico distribuito diffuso
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)

Larghezza 1 m

### Incremento di spinta dovuto ad azioni variabili da traffico

Le figure che seguono riportano la schematizzazione adottata per l'incremento di spinta dovuto ai carichi da traffico sul terrapieno adiacente allo scatolare interrato.

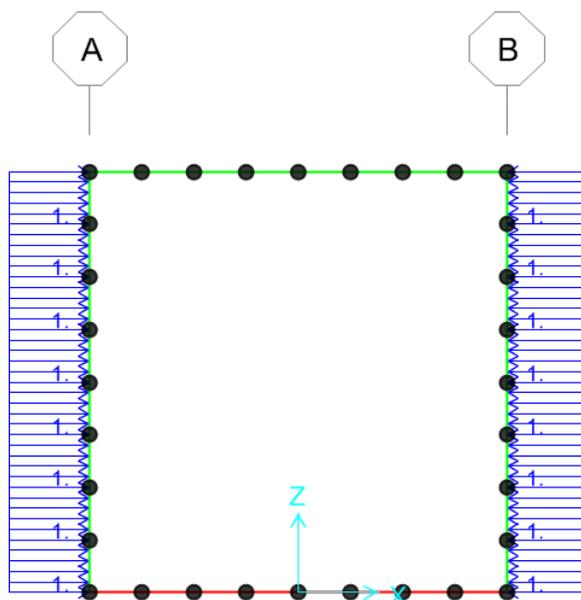


Figura 20 – Incremento di spinta dovuto alle azioni variabili da traffico.

<b>_Q_ traffico laterale</b>	<b>26.0</b> kN/m	Sovraccarico laterale su entrambi i lati
q	20 kN/m <sup>2</sup>	carico uniformemente distribuito
H	2.85 m	altezza parete ritto (asse-asse)
K0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
Larghezza	1 m	

### Azioni sismiche

Si adotta il metodo di analisi pseudo-statico proposto al §7.11.6.2.1 delle NTC2018.

Per l'analisi successiva sono stati definiti i seguenti parametri:

$k_h$	0.254 -	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127 -	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00 -	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254 g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175 g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45 -	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00 -	coeff. amplificazione topografica

### Incremento di spinta sismica del terreno

L'incremento di spinta sismica è applicata ai due piedritti come forza orizzontale per unità di lunghezza.

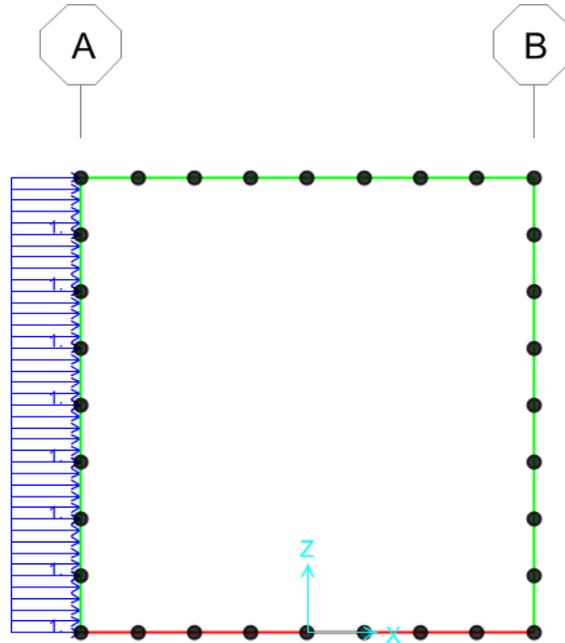


Figura 21 – Incremento di spinta sismica del terreno.

<b>_Ex_Spinta dinamica (kh)</b>	<b>14.5</b>	<b>kN/m</b>	
$\Delta p_d$	14.5	kN/m	incremento di spinta dinamica (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\gamma \times h$	57.0	kN/m <sup>2</sup> /m	
h	2.85	m	altezza asse-asse
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>	Peso specifico terreno
$k_h$	0.254	-	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127	-	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00	-	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254	g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175	g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45	-	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00	-	coeff. amplificazione topografica

### Forze inerziali

Si considerano le masse inerziali associate ai carichi gravanti sullo scatolare quali: massa c.a., pavimentazione e terreno. La figura successiva mostra la risorsa di massa su cui si basa l'analisi modale. Come si vede, il peso proprio è auto-computato mentre per i pesi di pavimentazione e terreno è necessario specificarne l'entità.

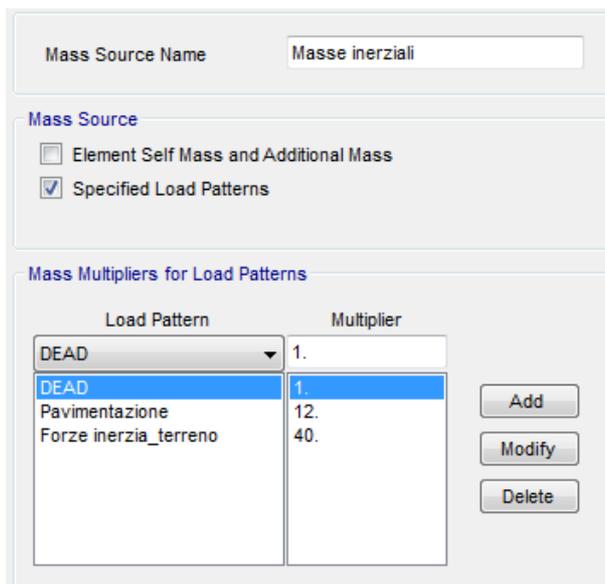


Figura 22 – Mass Source.

A tali masse sono applicati i coefficienti  $k_n$  e  $k_v$ , definiti ai paragrafi precedenti.

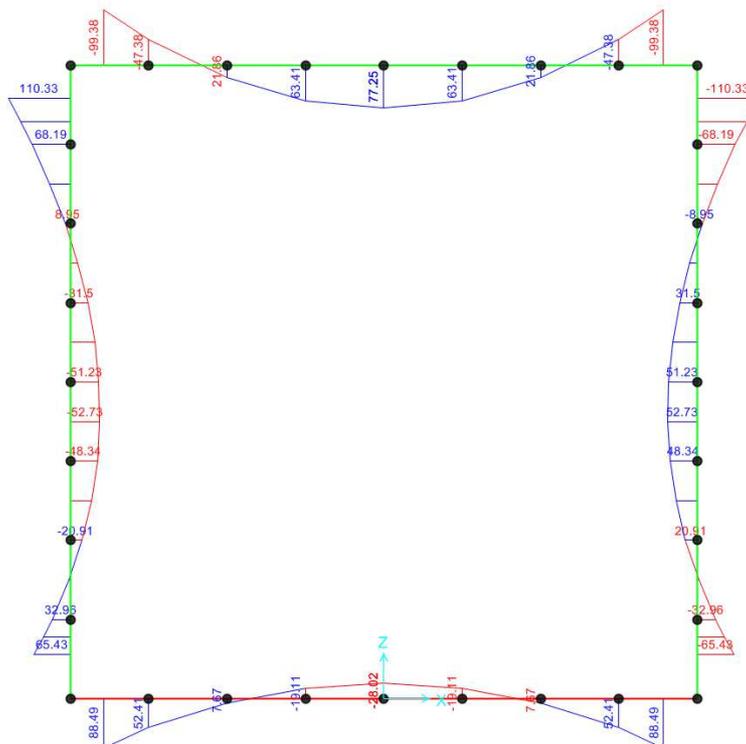
#### 4.4.1.2 Combinazioni di carico

TABLE: Combination Definitions			
ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Unitless
_G1	Linear Add	0_DEAD	1
_G2	Linear Add	1_Peso Terreno	20
_G2		1_Pavimentazione	12
_Q_traffico_AXI	Linear Add	2_Sovracc_traffico	75
_Q_traffico_DIS	Linear Add	2_Sovracc_traffico	9
_Q_traffico laterale	Linear Add	2_Sovracc_traffico laterale	20
_Q_traffico_AXI+DIS	Linear Add	_Q_traffico_AXI	1
_Q_traffico_AXI+DIS		_Q_traffico_DIS	1
_G3_spinta statica (k0)	Linear Add	1_Spinta terreno (k0)	20
_Ex_spinta dinamica (kh)	Linear Add	1_Spinta terreno (kh)	57
_Ex_forza inerziale	Linear Add	3_Inerzia x	1
_Ez_forza inerziale	Linear Add	3_Inerzia z	1
_E	Linear Add	_Ex_forza inerziale	1
_E		_Ex_spinta dinamica (kh)	1
_E		_Ez_forza inerziale	1
C_SLU	Linear Add	_G1	1.35
C_SLU		_G2	1.5
C_SLU		_G3_spinta statica (k0)	1.35
C_SLU		_Q_traffico_AXI+DIS	1.35

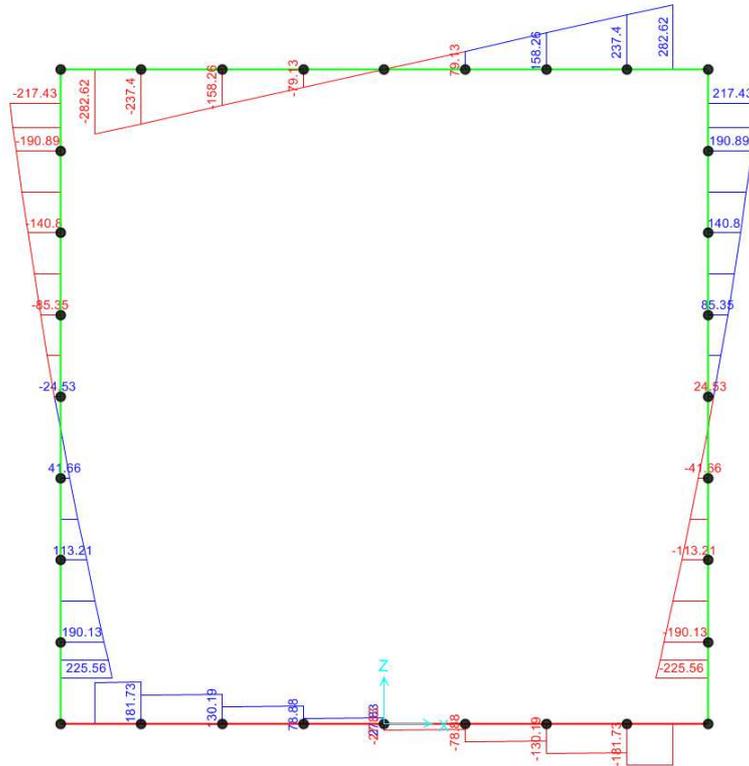
C_SLU		_Q_ traffico laterale	1.35
C_SLE_rara	Linear Add	_G1	1
C_SLE_rara		_G2	1
C_SLE_rara		_G3_spinta statica (k0)	1
C_SLE_rara		_Q_ traffico laterale	1
C_SLE_rara		_Q_ traffico_AXI+DIS	1
C_SLE_frequente	Linear Add	_G1	1
C_SLE_frequente		_G2	1
C_SLE_frequente		_G3_spinta statica (k0)	1
C_SLE_frequente		_Q_ traffico laterale	0.75
C_SLE_frequente		_Q_ traffico_AXI+DIS	0.75
C_SLE_q.p.	Linear Add	_G1	1
C_SLE_q.p.		_G2	1
C_SLV_pseudo_stat	Linear Add	C_SLE_q.p.	1
C_SLV_pseudo_stat		_E	1

#### 4.4.1.3 Sollecitazioni – combinazioni SLU

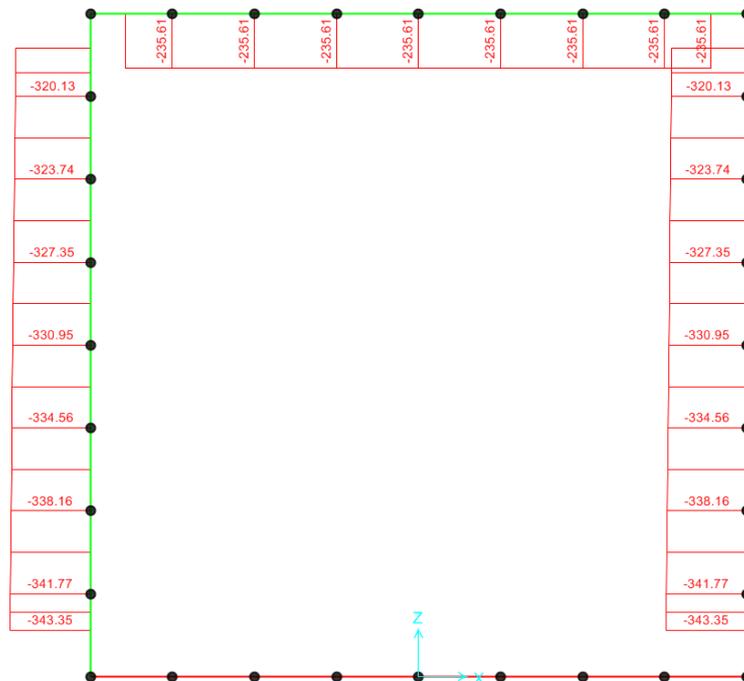
Momento flettente



Taglio

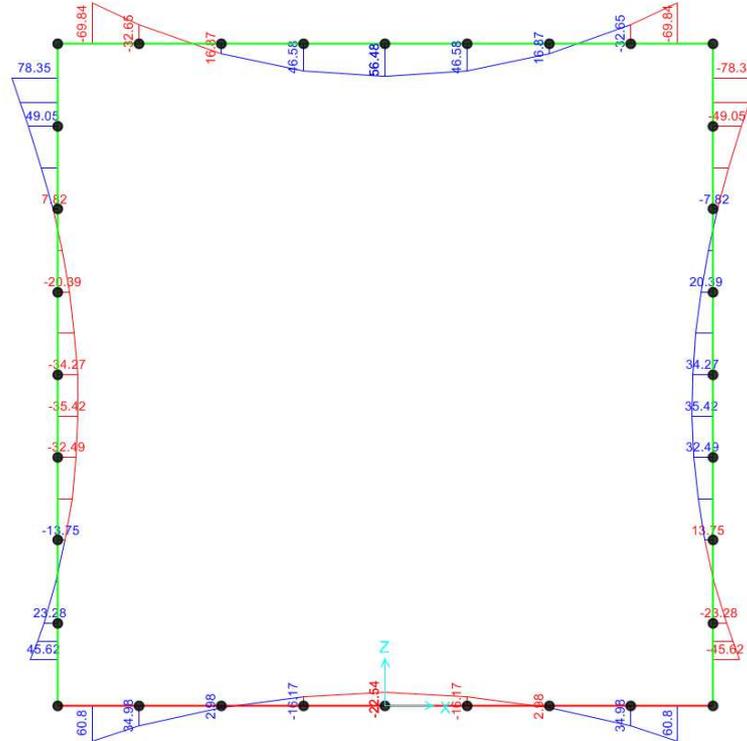


Sforzo normale

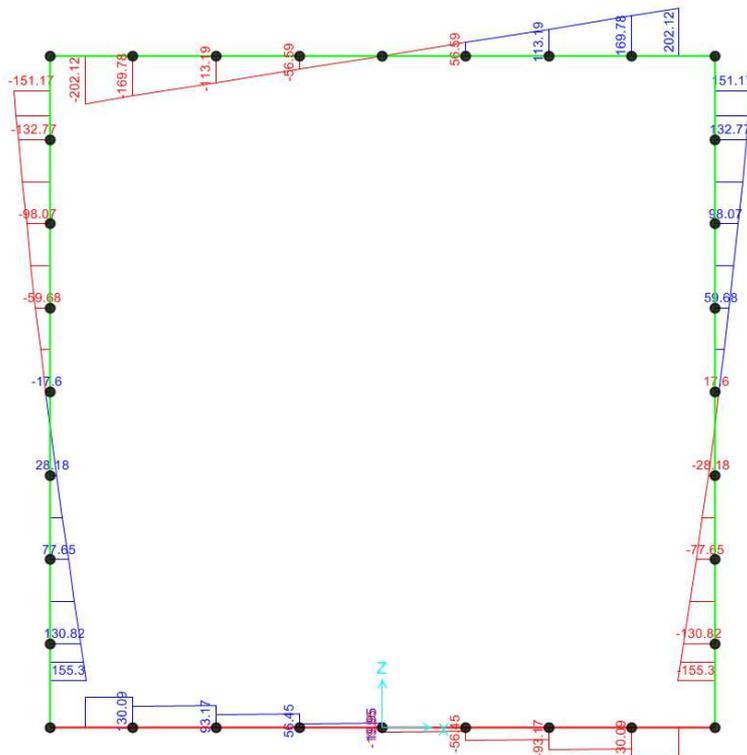


4.4.1.4 Sollecitazioni – combinazioni SLE caratteristica (rara)

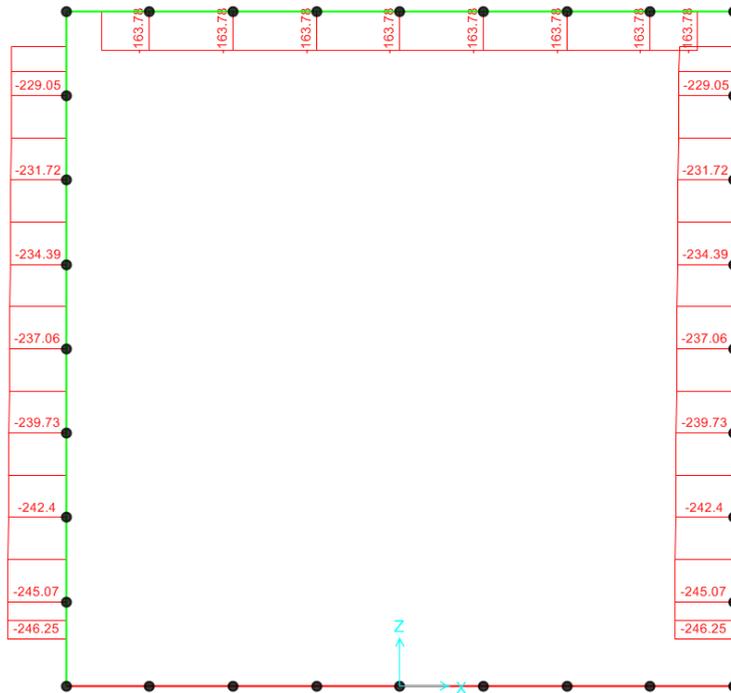
Momento flettente



Taglio

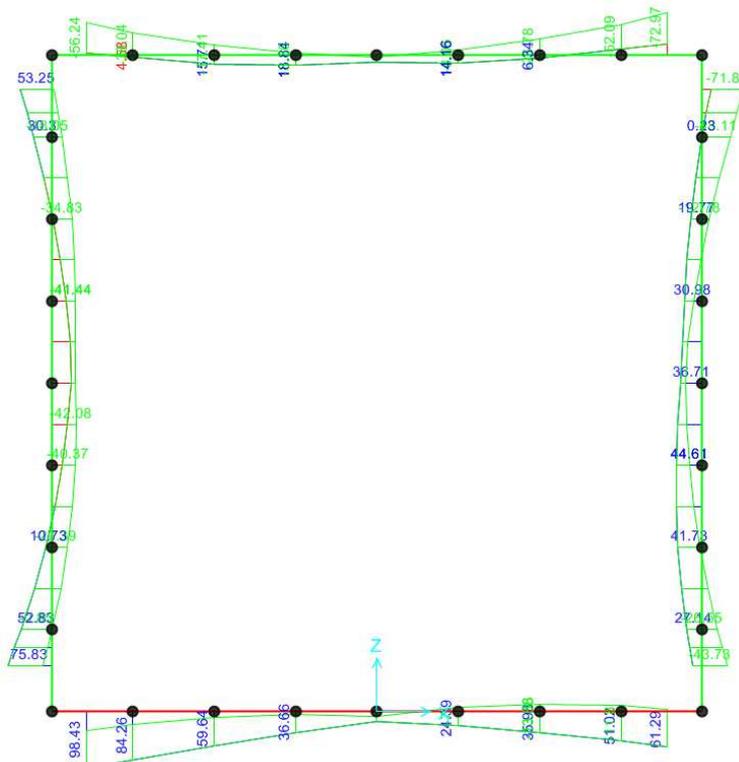


Sforzo normale

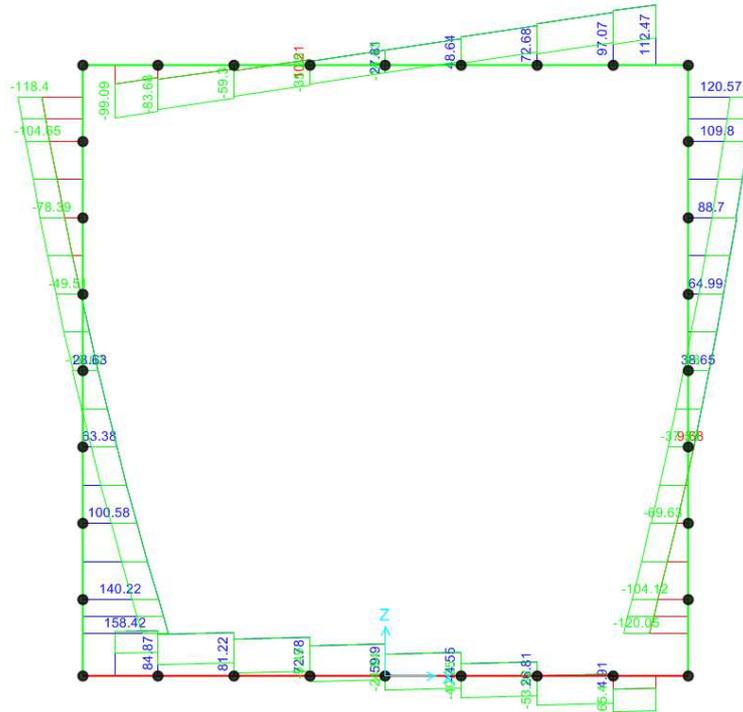


4.4.1.5 Sollecitazioni – combinazioni SLV (pseudo-statica)

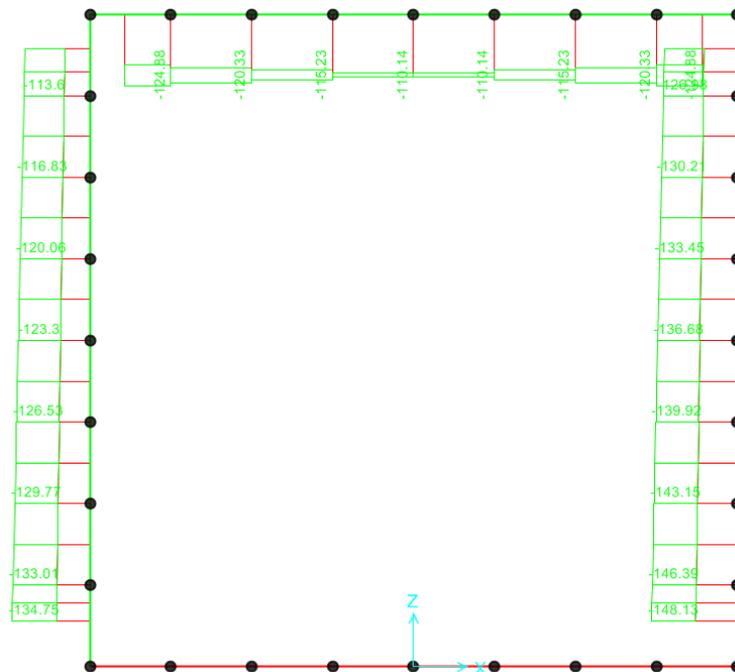
Momento flettente



Taglio



Sforzo normale



4.4.1.6 Verifica sezioni in c.a.

Le caratteristiche di sollecitazione esposte nelle precedenti figure, sono riassunte nella tabella che segue:

C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	65.4	45.6	75.8	S1 -max
V (kN/m)	225.6	155.3	158.4	
N (kN/m)	-343.3	-246.2	-134.8	
M (kNm/m)	77.25	56.5	10	S2 -max
V (kN/m)	0	0	21.8	
N (kN/m)	-235.6	-163.8	-110.1	
M (kNm/m)	99.3	69.8	-73	S3 -max
V (kN/m)	282.6	202.1	112.5	
N (kN/m)	-235.6	-163.8	-124.9	
M (kNm/m)	88.5	60.8	98.4	S4 -max
V (kN/m)	181.7	130.1	84.9	
N (kN/m)	0	0	0	

Si considerano le seguenti sezioni di calcolo:

- Sezione S1: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S2: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S3: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S4: 1.00x0.40 mxm

La struttura viene armata sia superiormente che inferiormente con 1+1 $\phi$ 16/15. Come armatura di ripartizione si prevedono delle barre di diametro  $\phi$ 12 disposte ad un interasse di 20 cm. Si prevede un'armatura trasversale composta da 4 spilli al metro di diametro  $\phi$ 12 (passo specificato nelle verifiche) in prossimità delle zone di incastro.

Per le verifiche tensionali che seguono si assumono i seguenti limiti previsti da normativa:

- Lato cls:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.6 f_{ck} = 0.6 \cdot 32 = 19.2 \text{ Mpa}$
  - SLE-quasi perm.:  $\rightarrow 0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 32 = 14.4 \text{ Mpa}$
- Lato acciaio:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.8 f_{yk} = 0.6 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

**Verifiche agli SLU statici e sismici (SLV)**

*Verifica di resistenza a presso-flessione*

Sezione S1:

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.30m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

N<sub>Ed</sub> 343.3    0 kN  
M<sub>xEd</sub> 65.4    0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0    0

**Materiali**  
B450C    C32/40  
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> 210.000 N/mm²    f<sub>cd</sub> 18.13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ‰  
ε<sub>syd</sub> 1.863 ‰    σ<sub>c,adm</sub> 12.25 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0.7333  
τ<sub>c1</sub> 2.114

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

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

**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 mm    Col. modello

M<sub>xRd</sub> 156.6 kN m  
x 59.66    x/d 0.2486  
δ 0.7507

Precompresso

N	N [kN]	M [kNm]
1	343.3	65.4
2	134.8	75.8

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S2 e S3:

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

N<sub>Ed</sub> 235.6    0 kN  
M<sub>xEd</sub> 77.25    0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0    0

**Materiali**  
B450C    C32/40  
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> 210.000 N/mm²    f<sub>cd</sub> 18.13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ‰  
ε<sub>syd</sub> 1.863 ‰    σ<sub>c,adm</sub> 12.25 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0.7333  
τ<sub>c1</sub> 2.114

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

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

**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 mm    Col. modello

M<sub>xRd</sub> 146.3 kN m  
x 56.33    x/d 0.2347  
δ 0.7334

Precompresso

N	N [kN]	M [kNm]
1	235.6	77.25
2	235.6	99.3
3	110.1	10
4	124.9	73

Sezioni S4:

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

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

**P.to applicazione N:**  Centro  Baricentro cls  Coord.[mm] 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

**Materiali:** B450C C32/40

**E<sub>su</sub>** 67.5 % **E<sub>c2</sub>** 2 %  
**f<sub>yd</sub>** 391.3 N/mm² **E<sub>cu</sub>** 3.5  
**E<sub>s</sub>** 210,000 N/mm² **f<sub>cd</sub>** 18.13  
**E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>** 15 **f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>** 0.8  
**E<sub>syd</sub>** 1.863 % **σ<sub>c,adm</sub>** 12.25  
**σ<sub>s,adm</sub>** 255 N/mm² **τ<sub>co</sub>** 0.7333  
**τ<sub>c1</sub>** 2.114

**M<sub>xRd</sub>** 176.3 kN m **σ<sub>c</sub>** -18.13 N/mm² **σ<sub>s</sub>** 391.3 N/mm² **ε<sub>c</sub>** 3.5 % **ε<sub>s</sub>** 20.42 % **d** 340 mm **x** 49.75 **x/d** 0.1463 **δ** 0.7

**N° rett.** 100 **Calcola MRd** **Dominio M-N** **L<sub>o</sub>** 0 mm **Col. modello**

Precompresso

Verifica SLU:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 88.5 / 176.3 = 0.50 < 1.0$ , verificato.

Verifica SLV:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 98.4 / 176.3 = 0.56 < 1.0$ , verificato.

### Verifica di resistenza a taglio

#### Sezione S1:

Si predispongono la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\varnothing_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\varnothing A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
$b_{st}$	4	bracci	(spilli)
$A_{st}$	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
s	200	mm	Passo staffe
cotg(θ)	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

$V_{Ed}$	225.6	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	474.0	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.5	< 1	<b>Ok</b>
$V_{Rsd}$	474.0	kN/m	Taglio trazione resistente
$V_{Rcd}$	669.7	kN/m	Taglio compressione resistente
$V_{Rsd} - V_{Rcd}$	-195.7	-	Rottura lato acciaio
Coeff.	0.9	-	
d	238.0	mm	
$A_{sw}$	452.4	mm <sup>2</sup>	
s	200.0	mm	

cotg( $\alpha$ )	0.000	-
sen( $\alpha$ )	1.000	-
Coeff.	0.90	-
d	238	mm
b <sub>w</sub>	1000	mm
$\alpha_c$	1	-
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa
v	0.5	-
cotg( $\alpha$ )	0.000	-

La verifica è soddisfatta.

### Sezione S3:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\varnothing_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\varnothing A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
b <sub>st</sub>	4	bracci	(spilli)
A <sub>st</sub>	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
s	200	mm	Passo staffe
cotg( $\theta$ )	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

V <sub>Ed</sub>	<b>282.6</b>	kN/m	Taglio sollecitante
V <sub>Rd</sub>	<b>474.0</b>	kN/m	Taglio resistente
V <sub>Ed</sub> / V <sub>Rd</sub>	0.6	<1	<b>Ok</b>
V <sub>Rsd</sub>	474.0	kN/m	Taglio trazione resistente
V <sub>Rcd</sub>	669.7	kN/m	Taglio compressione resistente
V <sub>Rsd</sub> - V <sub>Rcd</sub>	-195.7	-	Rottura lato acciaio

Coeff.	0.9	-
d	238.0	mm
A <sub>sw</sub>	452.4	mm <sup>2</sup>
s	200.0	mm
cotg( $\alpha$ )	0.000	-
sen( $\alpha$ )	1.000	-

Coeff.	0.90	-
d	238	mm
b <sub>w</sub>	1000	mm
$\alpha_c$	1	-

$\sigma_{cp}$	0.0	MPa
$v$	0.5	-
$\cotg(\alpha)$	0.000	-

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S4:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\varnothing_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\varnothing A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
$b_{st}$	4	bracci	(spilli)
$A_{st}$	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
$s$	200	mm	Passo staffe
$\cotg(\theta)$	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

$V_{Ed}$	<b>181.7</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>673.1</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.3	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rsd}$	673.1	kN/m	Taglio trazione resistente
$V_{Rcd}$	951.1	kN/m	Taglio compressione resistente
$V_{Rsd} - V_{Rcd}$	-277.9	-	Rottura lato acciaio
Coeff.	0.9	-	
$d$	338.0	mm	
$A_{sw}$	452.4	mm <sup>2</sup>	
$s$	200.0	mm	
$\cotg(\alpha)$	0.000	-	
$\text{sen}(\alpha)$	1.000	-	
Coeff.	0.90	-	
$d$	338	mm	
$b_w$	1000	mm	
$\alpha_c$	1	-	
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa	
$v$	0.5	-	
$\cotg(\alpha)$	0.000	-	

La verifica è soddisfatta.

**Verifiche agli SLE**

Verifica tensioni flettenti

Sezione S1:

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.30m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

N<sub>Ed</sub>: 0 | 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 | 45.6 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 | 0

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

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰,  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰,  $\sigma_c$ : -5.045 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰,  $\sigma_s$ : 160.6 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cd}$ : 18.13 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15,  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰,  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>,  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\epsilon_s$ : 0.7647 ‰, d: 240 mm, x: 76.88, x/d: 0.3203,  $\delta$ : 0.8404

Verifica | N° iterazioni: 4 | Precompresso

Sezioni S2 e S3:

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

N<sub>Ed</sub>: 0 | 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 | 56.5 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 | 0

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

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰,  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰,  $\sigma_c$ : -6.251 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰,  $\sigma_s$ : 199 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cd}$ : 18.13 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15,  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰,  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>,  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\epsilon_s$ : 0.9474 ‰, d: 240 mm, x: 76.88, x/d: 0.3203,  $\delta$ : 0.8404

Verifica | N° iterazioni: 4 | Precompresso

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

N<sub>Ed</sub>: 0 | 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 | 69.8 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 | 0

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

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰,  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰,  $\sigma_c$ : -7.723 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰,  $\sigma_s$ : 245.8 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cd}$ : 18.13 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15,  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰,  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>,  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\epsilon_s$ : 1.17 ‰, d: 240 mm, x: 76.88, x/d: 0.3203,  $\delta$ : 0.8404

Verifica | N° iterazioni: 4 | Precompresso

Sezione S4:

**Titolo:** AI.01 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

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

**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **60.8** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

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

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -3.713 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  147.9 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ‰  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

$\epsilon_s$  0.7044 ‰  
d 340 mm  
x 93 x/d 0.2735  
 $\delta$  0.7819

**Verifica** **N° iterazioni:** 4

Precompresso

Le verifiche sono soddisfatte.

### Incidenza delle armature

Membratura	Armatura tot. (kg/m)	Incidenza (kg/m <sup>3</sup> /m)
Piedritto	43	150
Soletta superiore	34	120
Soletta inferiore	43	110

## 4.4.2 Scatolare AI.02

### 4.4.2.1 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito l'analisi dei carichi e la loro applicazione al modello di calcolo in oggetto.

### Azioni permanenti

Le figure seguenti mostrano l'applicazione dei carichi permanenti al modello unifilare. Come precedentemente riportato, i carichi sono applicati come unitari. I valori dei carichi di progetto sono inseriti come coefficiente di combinazione.

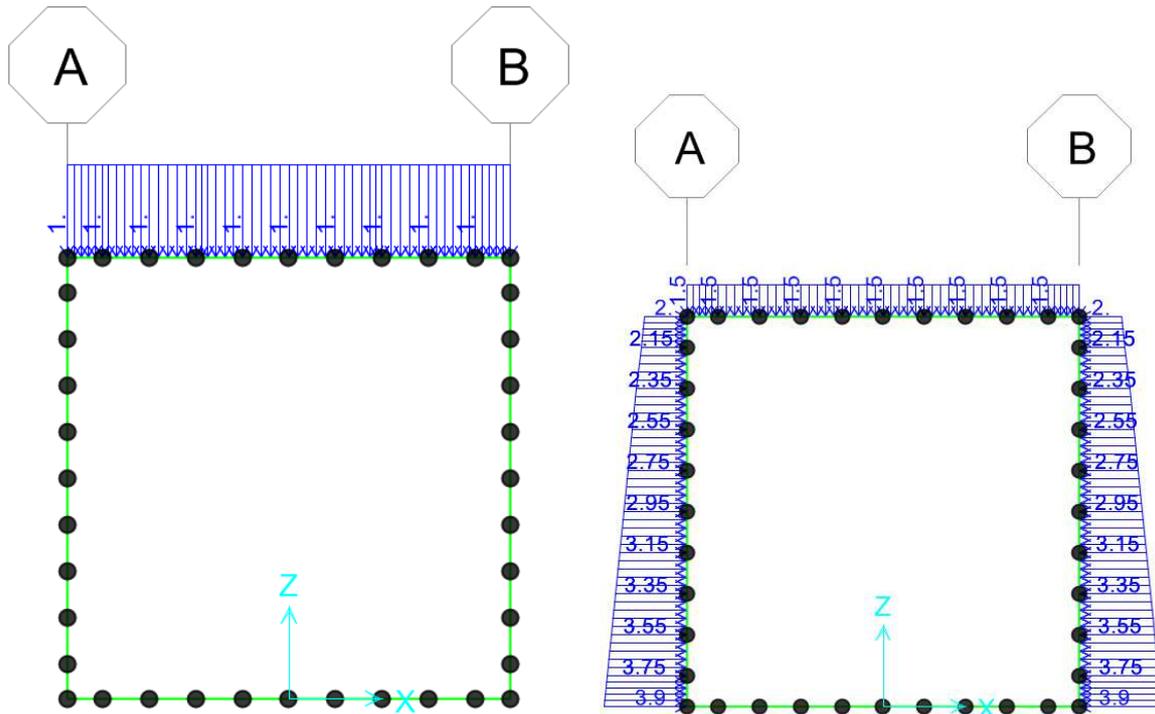


Figura 23 – Carichi permanenti: pavimentazione (sinistra), terreno (destra).

Si fa notare che per l'applicazione del carico del terreno sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Peso proprio del terreno sulla soletta superiore: sopra la soletta superiore grava uno spessore di terreno di circa 1.50 m (approssimazione per eccesso);
- Spinta a riposo del terreno sulle pareti laterali: il vertice superiore dello scatolare si trova alla profondità di 2.00 m.

Per non appesantire la trattazione non si riporta la vista dell'assegnazione di carico del terreno nel caso di ricoprimento minimo. In questa condizione il peso proprio del terreno sulla soletta superiore è stato valutato considerando uno spessore pari a 0.70 m, mentre per la spinta a riposo sulle pareti laterali la profondità del vertice superiore dello scatolari risulta 1.20 m sotto l'estradosso della pavimentazione.

I carichi sopraesposti sono esplicitati di seguito:

<b>_G1</b>	<b>57.0</b> kN/m	<b>Peso proprio</b> (computato automaticamente)
<b>0_DEAD</b>	57 kN/m	
V	2.28 m <sup>3</sup> /m	
$\gamma_c$	25 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico c.a.
<b>_G2_max</b>	<b>42.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	30 kN/m	
p	1.5 m	profondità terreno
d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno

<b>_G2_min</b>	<b>26.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	14 kN/m	
$\rho$	0.7 m	profondità terreno
$d$	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
<b>1_Pavimentazione</b>	12 kN/m	
$sp$	0.5 m	spessore pacchetto pavimentazione
$d$	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	24 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
<b>_G3_max</b>	<b>26.9</b> kN/m	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	26.9 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
$k_0$	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
$h_1$	-2 m	profondità asse soletta di copertura
$h_s$	1.90 m	altezza parete ritto (asse-asse)
$h_2$	-3.9 m	profondità asse soletta di base
<b>_G3_min</b>	<b>19.6</b> kN/m	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	19.6 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
$k_0$	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
$h_1$	-1.2 m	profondità asse soletta di copertura
$h_s$	1.90 m	altezza parete ritto (asse-asse)
$h_2$	-3.1 m	profondità asse soletta di base

### Azioni variabili da traffico

Dato l'elevato spessore di terreno sopra la soletta superiore dello scatolare, la diffusione delle impronte di carico porta alla definizione di un carico costante agente sulla soletta stessa.

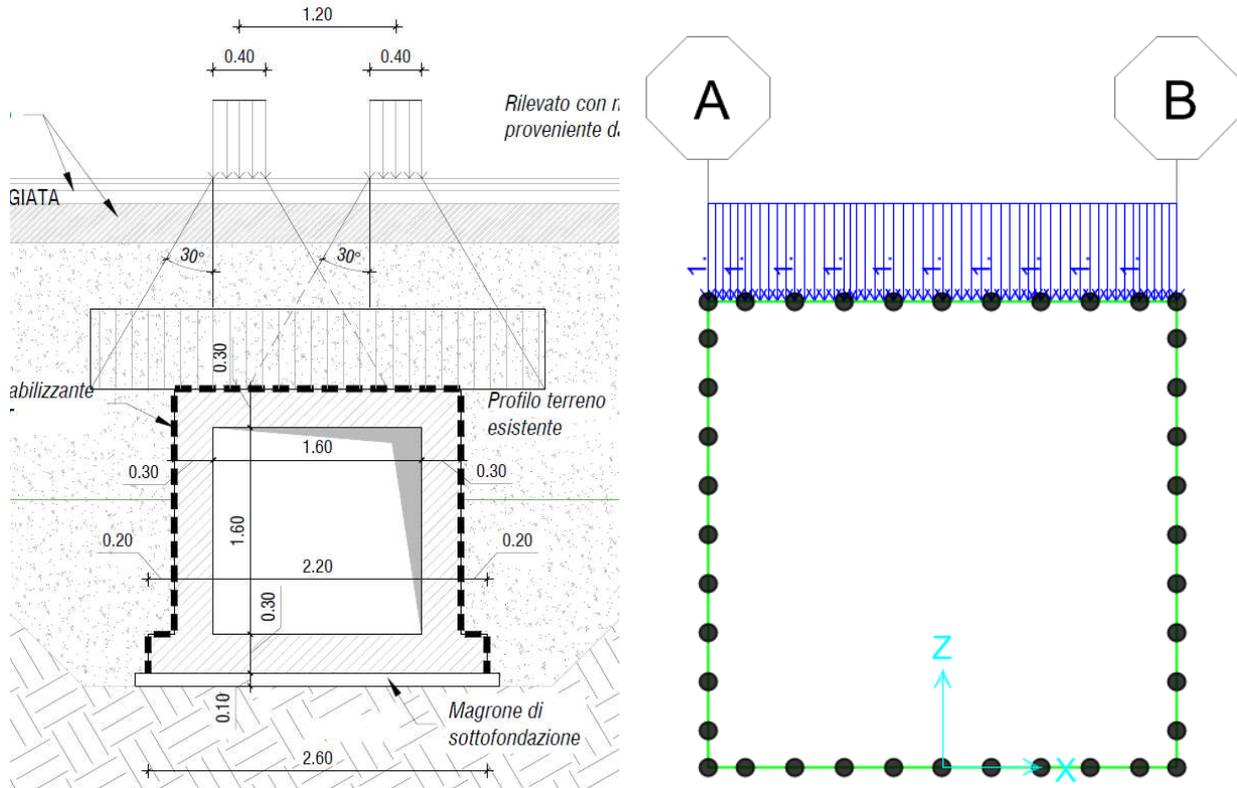


Figura 24 – Carichi da traffico – asse tandem (Schema 1).

In funzione dello spessore di ricoprimento dello scatolare, l'impronta di diffusione del carico tandem cambia.

- Massimo ricoprimento:

<b>_Q traffico_AXI</b>	<b>88</b> kN/m	carico assiale diffuso
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	3.4 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q traffico_DIS</b>	<b>9</b> kN/m	carico distribuito diffuso
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)
Larghezza	1 m	

- Minimo ricoprimento:

<b>_Q traffico_AXI</b>	<b>107</b> kN/m	carico assiale diffuso
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	2.8 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q traffico_DIS</b>	<b>9</b> kN/m	carico distribuito diffuso
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)
Larghezza	1 m	

### Incremento di spinta dovuto ad azioni variabili da traffico

Le figure che seguono riportano la schematizzazione adottata per l'incremento di spinta dovuto ai carichi da traffico sul terrapieno adiacente allo scatolare interrato.

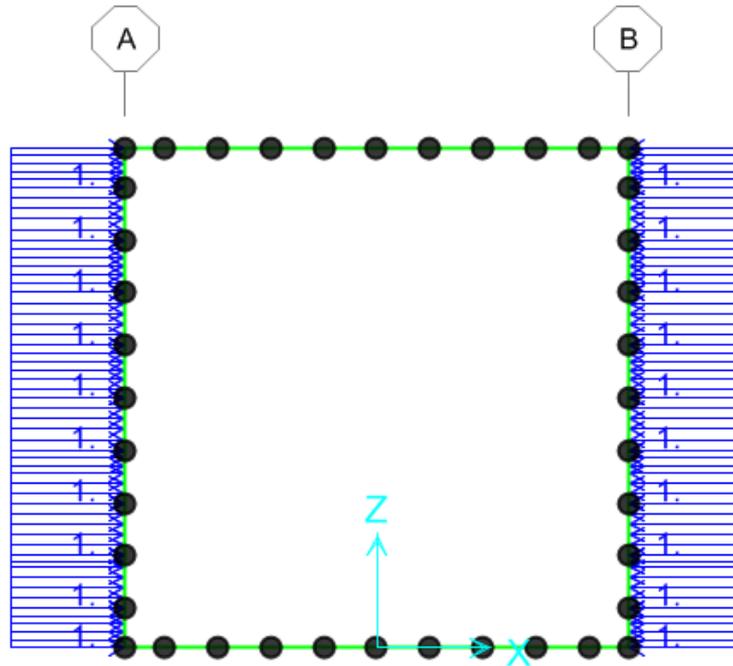


Figura 25 – Incremento di spinta dovuto alle azioni variabili da traffico.

<b>_Q_ traffico laterale</b>	<b>17.3</b> kN/m	Sovraccarico laterale su entrambi i lati
q	20 kN/m <sup>2</sup>	carico uniformemente distribuito
H	1.90 m	altezza parete ritto (asse-asse)
K0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
Larghezza	1 m	

### Azioni sismiche

Si adotta il metodo di analisi pseudo-statico proposto al §7.11.6.2.1 delle NTC2018.

Per l'analisi successiva sono stati definiti i seguenti parametri:

$k_h$	0.254 -	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127 -	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00 -	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254 g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175 g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45 -	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00 -	coeff. amplificazione topografica

### Incremento di spinta sismica del terreno

L'incremento di spinta sismica è applicata ai due piedritti come forza orizzontale per unità di lunghezza.

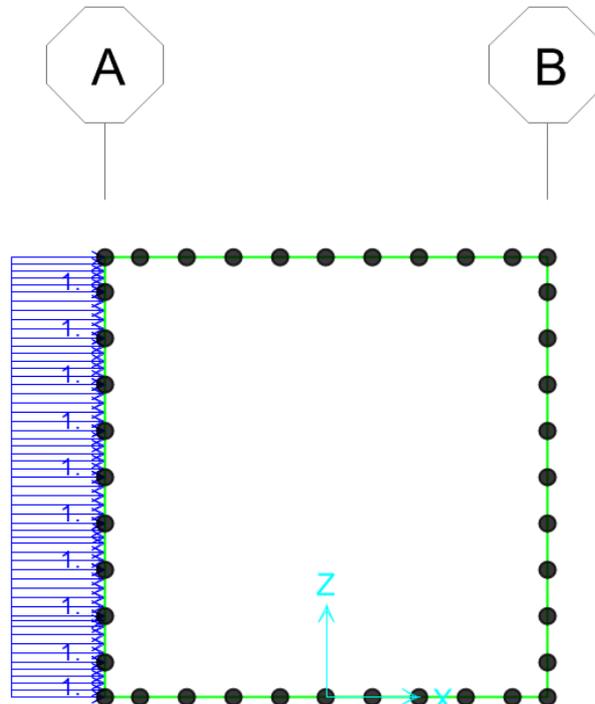


Figura 26 – Incremento di spinta sismica del terreno.

<b>Ex_Spinta dinamica (kh)</b>	<b>9.6</b>	<b>kN/m</b>	
$\Delta p_d$	9.6	kN/m	incremento di spinta dinamica (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\gamma \times h$	38.0	kN/m <sup>2</sup> /m	
h	1.90	m	altezza asse-asse
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>	Peso specifico terreno
$k_h$	0.254	-	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127	-	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00	-	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254	g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175	g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45	-	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00	-	coeff. amplificazione topografica

### Forze inerziali

Si considerano le masse inerziali associate ai carichi gravanti sullo scatolare quali: massa c.a., pavimentazione e terreno. La figura successiva mostra la risorsa di massa su cui si basa l'analisi modale. Come si vede, il peso proprio è auto-computato mentre per i pesi di pavimentazione e terreno è necessario specificarne l'entità.

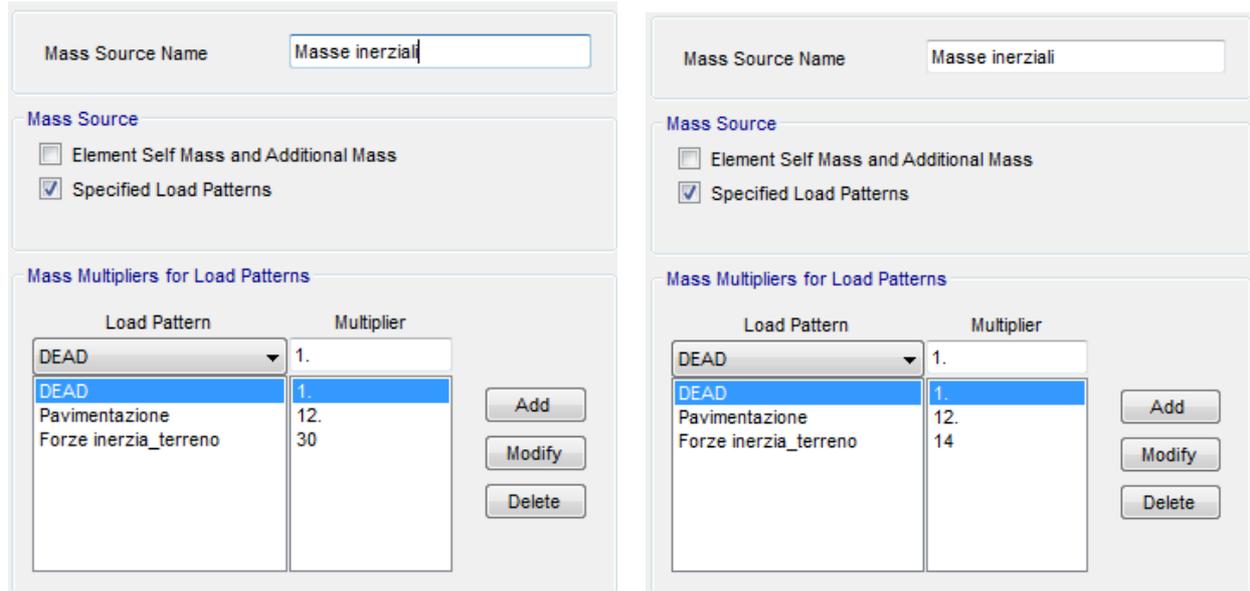


Figura 27 – Mass Sources: massimo ricoprimento (sinistra), minimo ricoprimento (destra).

A tali masse sono applicati i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$ , definiti ai paragrafi precedenti.

#### 4.4.2.2 Combinazioni di carico

Massimo ricoprimento:

TABLE: Combination Definitions			
ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Unitless
_G1	Linear Add	0_DEAD	1
_G2	Linear Add	1_Peso Terreno	20
_G2		1_Pavimentazione	12
_Q_traffico_AXI	Linear Add	2_Sovracc_traffico	90
_Q_traffico_DIS	Linear Add	2_Sovracc_traffico	9
_Q_traffico laterale	Linear Add	2_Sovracc_traffico laterale	20
_Q_traffico_AXI+DIS	Linear Add	_Q_traffico_AXI	1
_Q_traffico_AXI+DIS		_Q_traffico_DIS	1
_G3_spinta statica (k0)	Linear Add	1_Spinta terreno (k0)	20
_Ex_spinta dinamica (kh)	Linear Add	1_Spinta terreno (kh)	38
_Ex_forza inerziale	Linear Add	3_Inerzia x	1
_Ez_forza inerziale	Linear Add	3_Inerzia z	1
_E	Linear Add	_Ex_forza inerziale	1
_E		_Ex_spinta dinamica (kh)	1
_E		_Ez_forza inerziale	1
C_SLU	Linear Add	_G1	1.35
C_SLU		_G2	1.5
C_SLU		_G3_spinta statica (k0)	1.35
C_SLU		_Q_traffico_AXI+DIS	1.35

C_SLU		_Q_traffico laterale	1.35
C_SLE_rara	Linear Add	_G1	1
C_SLE_rara		_G2	1
C_SLE_rara		_G3_spinta statica (k0)	1
C_SLE_rara		_Q_traffico laterale	1
C_SLE_rara		_Q_traffico_AXI+DIS	1
C_SLE_frequente	Linear Add	_G1	1
C_SLE_frequente		_G2	1
C_SLE_frequente		_G3_spinta statica (k0)	1
C_SLE_frequente		_Q_traffico laterale	0.75
C_SLE_frequente		_Q_traffico_AXI+DIS	0.75
C_SLE_q.p.	Linear Add	_G1	1
C_SLE_q.p.		_G2	1
C_SLV_pseudo_stat	Linear Add	_E	1
C_SLV_pseudo_stat		C_SLE_q.p.	1

Minimo ricorrimto:

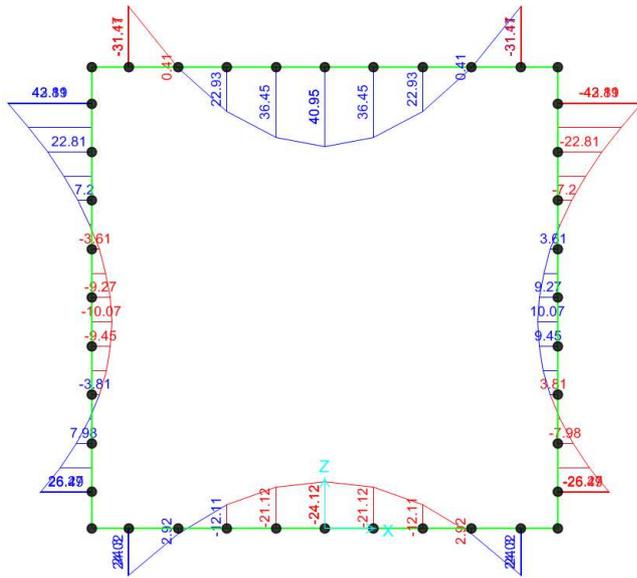
<b>TABLE: Combination Definitions</b>			
<b>ComboName</b>	<b>ComboType</b>	<b>CaseName</b>	<b>ScaleFactor</b>
<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Unitless</b>
_G1	Linear Add	0_DEAD	1
_G2	Linear Add	1_Peso Terreno	20
_G2		1_Pavimentazione	12
_Q_traffico_AXI	Linear Add	2_Sovracc_traffico	110
_Q_traffico_DIS	Linear Add	2_Sovracc_traffico	9
_Q_traffico laterale	Linear Add	2_Sovracc_traffico_laterale	20
_Q_traffico_AXI+DIS	Linear Add	_Q_traffico_AXI	1
_Q_traffico_AXI+DIS		_Q_traffico_DIS	1
_G3_spinta statica (k0)	Linear Add	1_Spinta terreno (k0)	20
_Ex_spinta dinamica (kh)	Linear Add	1_Spinta terreno (kh)	38
_Ex_forza inerziale	Linear Add	3_Inerzia x	1
_Ez_forza inerziale	Linear Add	3_Inerzia z	1
_E	Linear Add	_Ex_forza inerziale	1
_E		_Ex_spinta dinamica (kh)	1
_E		_Ez_forza inerziale	1
C_SLU	Linear Add	_G1	1.35
C_SLU		_G2	1.5
C_SLU		_G3_spinta statica (k0)	1.35
C_SLU		_Q_traffico_AXI+DIS	1.35
C_SLU		_Q_traffico laterale	1.35
C_SLE_rara	Linear Add	_G1	1
C_SLE_rara		_G2	1

C_SLE_rara		_G3_spinta statica (k0)	1
C_SLE_rara		_Q_traffico laterale	1
C_SLE_rara		_Q_traffico_AXI+DIS	1
C_SLE_frequente	Linear Add	_G1	1
C_SLE_frequente		_G2	1
C_SLE_frequente		_G3_spinta statica (k0)	1
C_SLE_frequente		_Q_traffico laterale	0.75
C_SLE_frequente		_Q_traffico_AXI+DIS	0.75
C_SLE_q.p.	Linear Add	_G1	1
C_SLE_q.p.		_G2	1
C_SLV_pseudo_stat	Linear Add	_E	1
C_SLV_pseudo_stat		C_SLE_q.p.	1

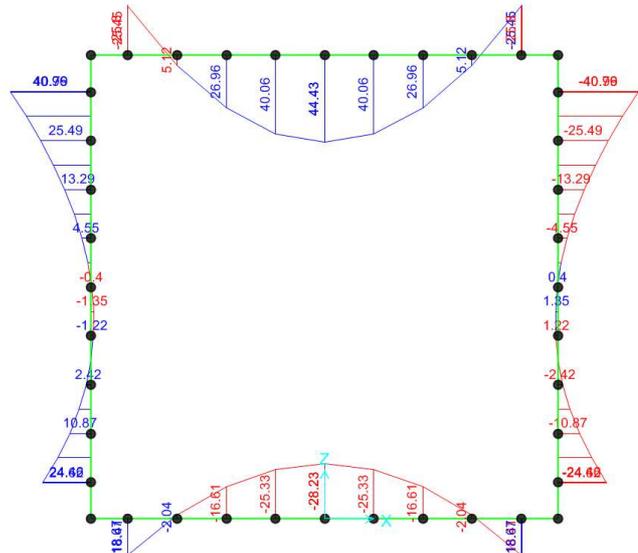
#### 4.4.2.3 Sollecitazioni – combinazioni SLU

##### Momento flettente

Ricoprimento massimo



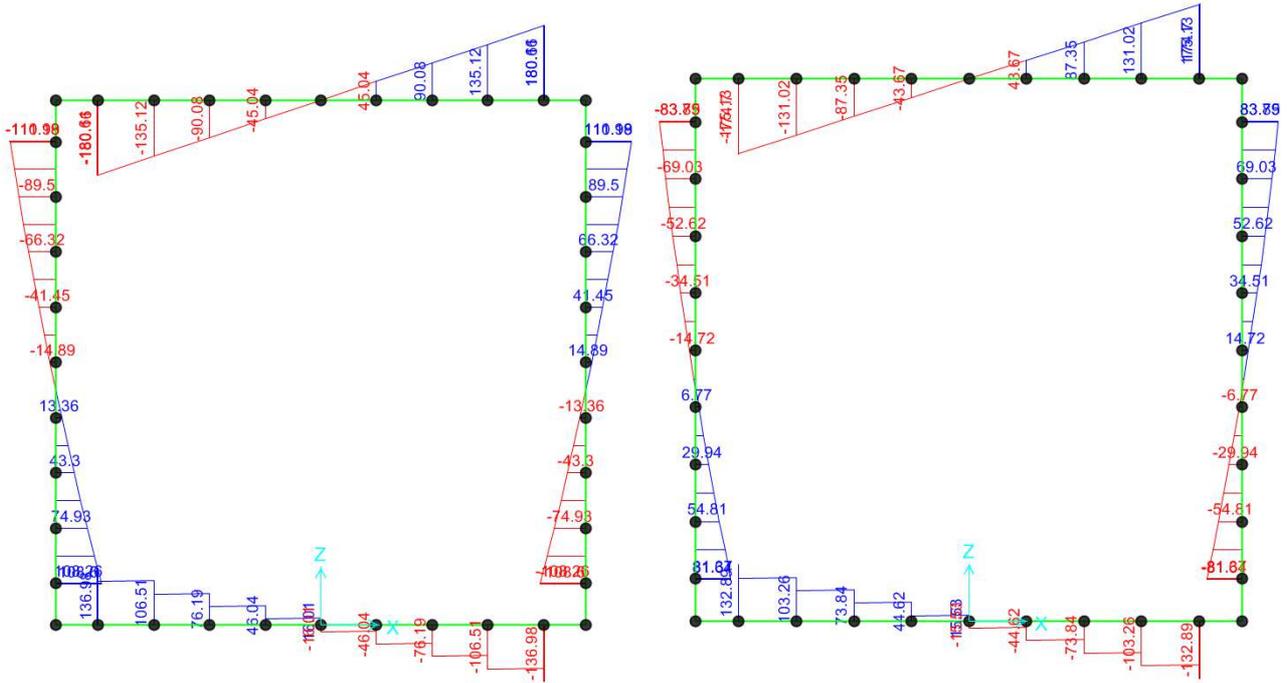
Ricoprimento minimo



##### Taglio

Ricoprimento massimo

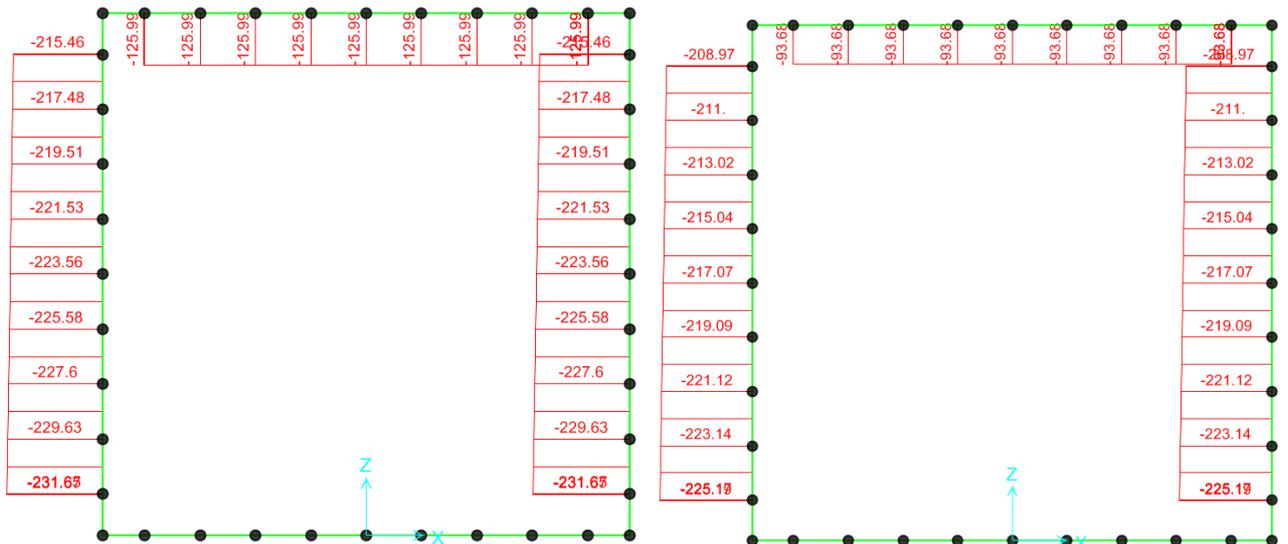
Ricoprimento minimo



Sforzo normale

Ricoprimento massimo

Ricoprimento minimo

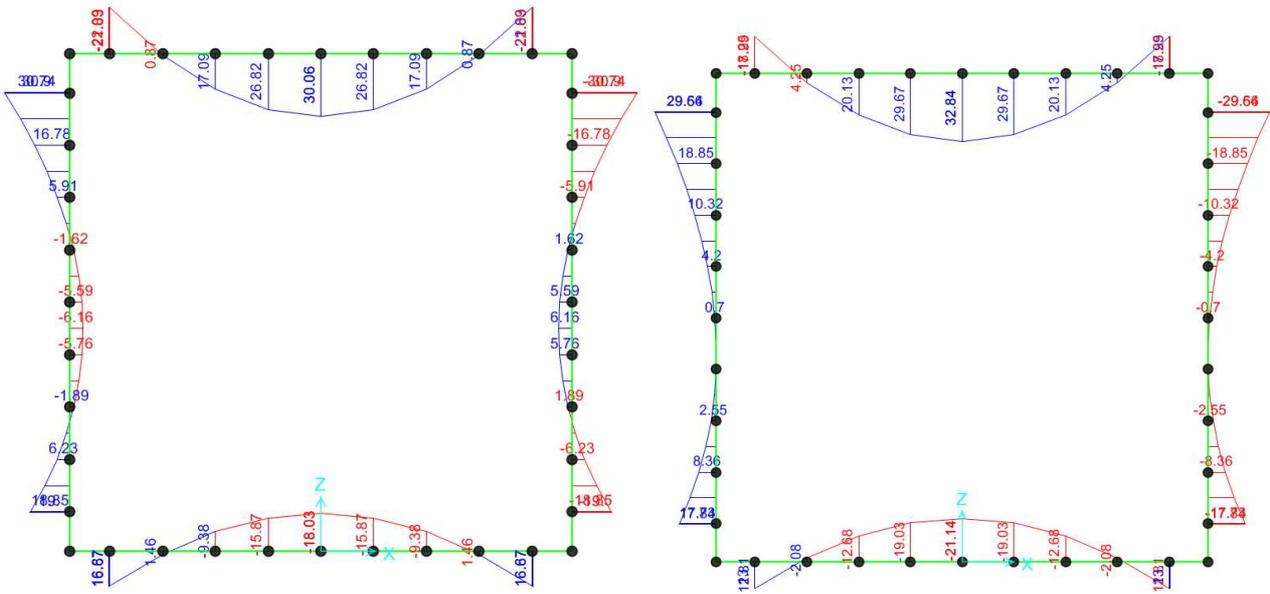


4.4.2.4 Sollecitazioni – combinazioni SLE caratteristica (rara)

Momento flettente

Ricoprimento massimo

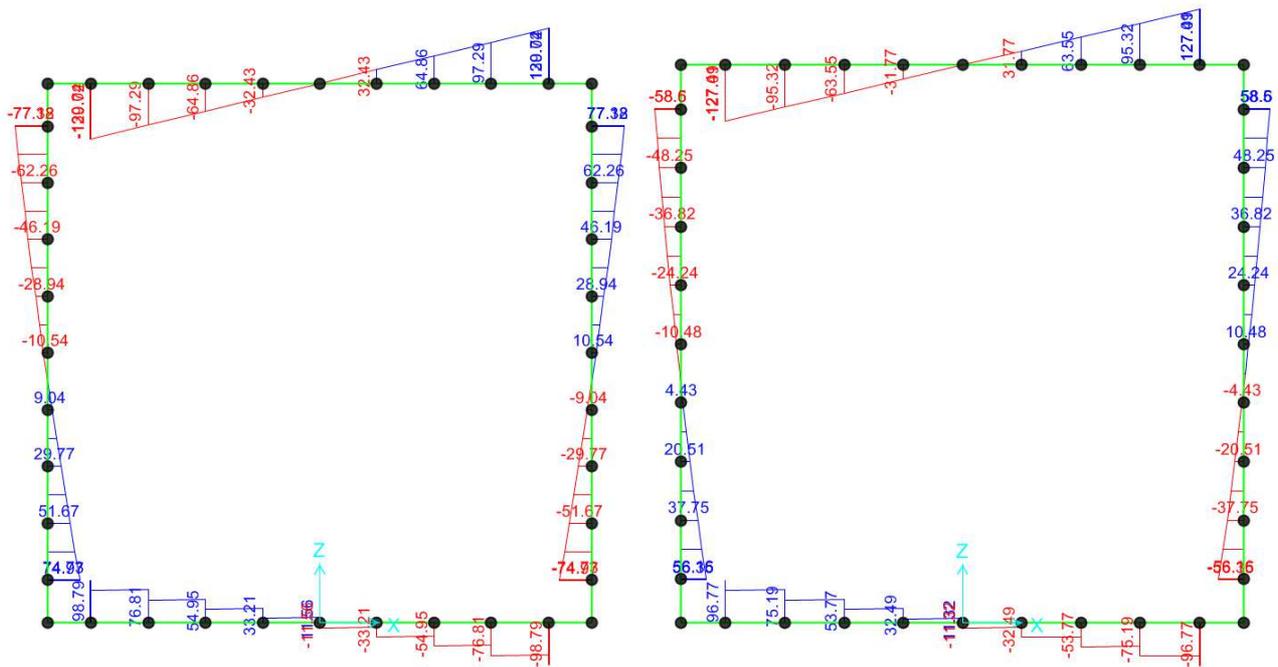
Ricoprimento minimo



Taglio

Ricoprimento massimo

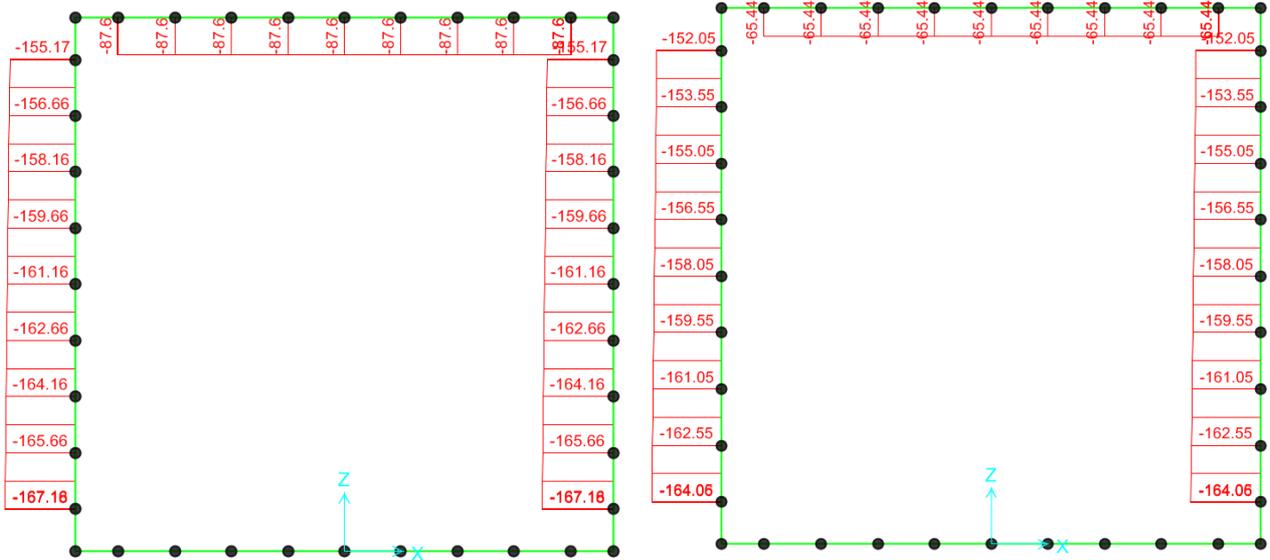
Ricoprimento minimo



Sforzo normale

Ricoprimento massimo

Ricoprimento minimo

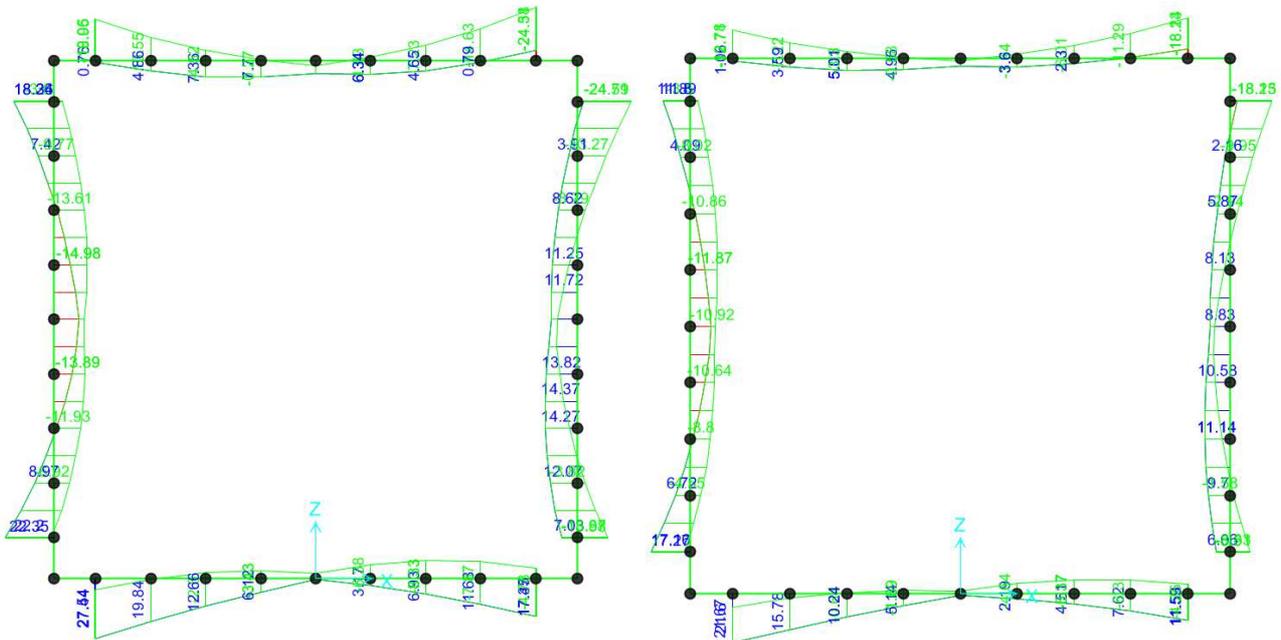


4.4.2.5 Sollecitazioni – combinazioni SLV (pseudo-statica)

Momento flettente

Ricoprimento massimo

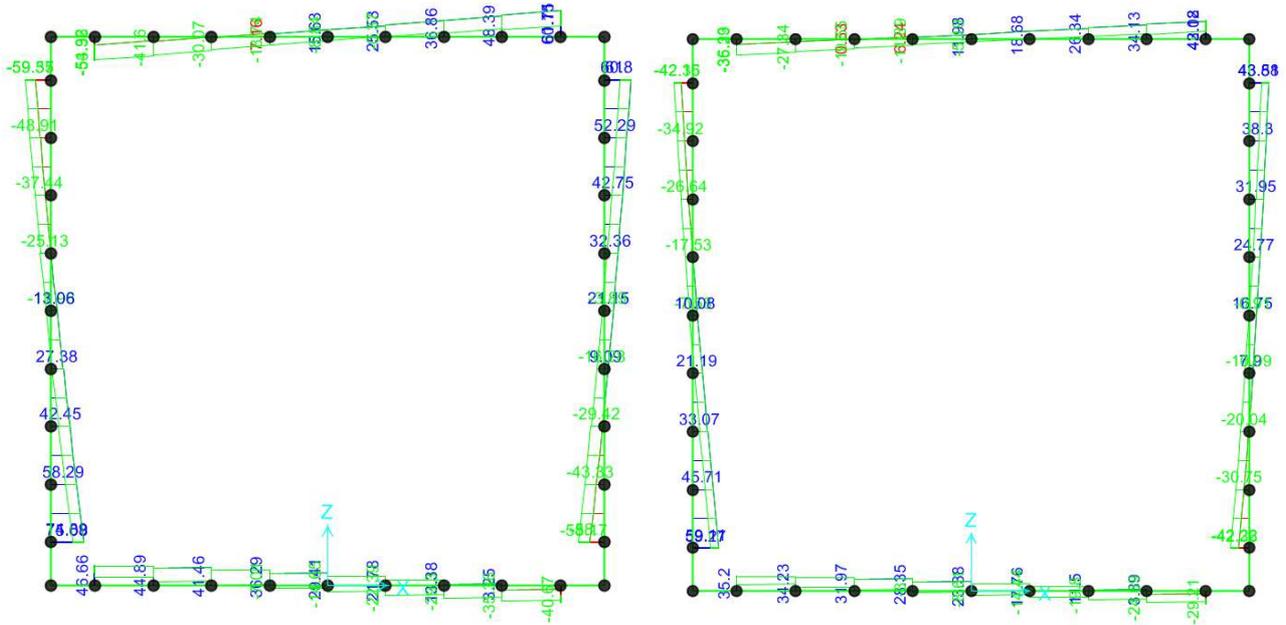
Ricoprimento minimo



Taglio

Ricoprimento massimo

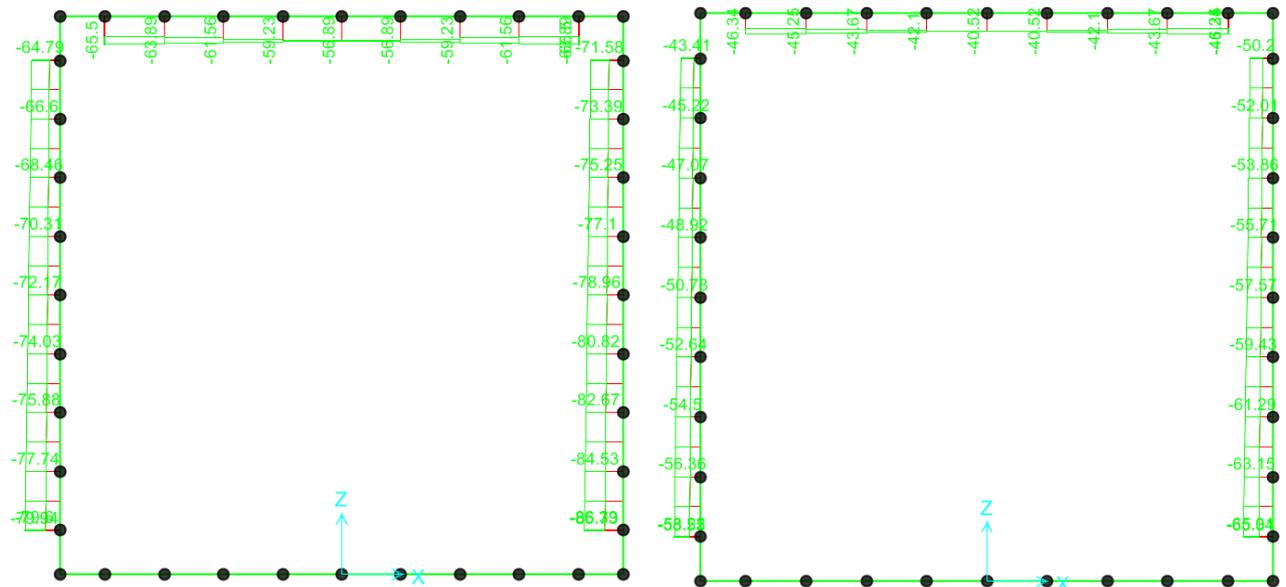
Ricoprimento minimo



Sforzo normale

Ricoprimento massimo

Ricoprimento minimo



#### 4.4.2.6 Verifica sezioni in c.a.

Le caratteristiche di sollecitazione espresse nelle precedenti figure, sono riassunte nella tabella che segue:

Ricoprimento massimo:

C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	42.9	20	22	S1 -max
V (kN/m)	110	75	75	

N (kN/m)	-231.7	-167.2	-80	
M (kNm/m)	40.9	30	7	
V (kN/m)	0	0	0	S2 -max
N (kN/m)	-126	-87.6	-57	
M (kNm/m)	31.4	22.9	24.4	
V (kN/m)	180.7	129.7	60.1	S3 -max
N (kN/m)	-126	-87.6	-57	
M (kNm/m)	24	16.9	27.4	
V (kN/m)	136.9	99	44	S4 -max
N (kN/m)	0	0	0	

Ricoprimento minimo:

C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	41	18	17.2	
V (kN/m)	82	56.4	59.1	S1 -max
N (kN/m)	-225.2	-164.1	58.2	
M (kNm/m)	44.4	32.8	3.6	
V (kN/m)	0	0	18.7	S2 -max
N (kN/m)	-93.6	-65.4	-38.8	
M (kNm/m)	25.4	19	18.1	
V (kN/m)	175.7	128	42.1	S3 -max
N (kN/m)	-93.6	-65.4	-45.2	
M (kNm/m)	18.9	13	21.6	
V (kN/m)	132.9	96.8	34.2	S4 -max
N (kN/m)	0	0	0	

Si considerano le seguenti sezioni di calcolo:

- Sezione S1: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S2: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S3: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S4: 1.00x0.30 mxm

La struttura viene armata sia superiormente che inferiormente con 1+1 $\varnothing$ 16/15. Come armatura di ripartizione si prevedono delle barre di diametro  $\varnothing$ 12 disposte ad un interasse di 20 cm. Si prevede l'aggiunta, sia superiormente che inferiormente, di 1+1 $\varnothing$ 20/15 in prossimità delle zone di incastro tra piedritti e soletta superiore.

Per le verifiche tensionali che seguono si assumono i seguenti limiti previsti da normativa:

- Lato cls:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.6 f_{ck} = 0.6 \cdot 32 = 19.2 \text{ Mpa}$
  - SLE-quasi perm.:  $\rightarrow 0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 32 = 14.4 \text{ Mpa}$

- Lato acciaio:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.8 f_{yk} = 0.6 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

**Verifiche agli SLU statici e sismici (SLV)**

Verifica di resistenza a presso-flessione

**Sezione S1:**

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	300

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1347	60
2	1347	240

**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.[mm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervalo

M<sub>xRd</sub> 123.6 kNm

**Materiali**  
B450C C32/40  
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> 210.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.863 % σ<sub>c,adm</sub> 12.25  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
τ<sub>c1</sub> 2.114

σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 %  
ε<sub>s</sub> 13.38 %  
d 240 mm  
x 49.76 x/d 0.2073  
δ 0.7

**Tipo Sezione**  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettaglioli Coord.

**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 mm Col. modello

Precompresso

**Sollecitazioni**

N	N [kN]	M [kNm]
1	231.7	42.9
2	225.2	41
3	80	22
4	58.2	17.2

Aggiunge Elimina

Valori Infittisci punti

La verifica è soddisfatta.

**Sezioni S2 e S3:**

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	300

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1347	60
2	1347	240

**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.[mm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervalo

M<sub>xRd</sub> 123.6 kNm

**Materiali**  
B450C C32/40  
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> 210.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.863 % σ<sub>c,adm</sub> 12.25  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
τ<sub>c1</sub> 2.114

σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 %  
ε<sub>s</sub> 13.38 %  
d 240 mm  
x 49.76 x/d 0.2073  
δ 0.7

**Tipo Sezione**  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettaglioli Coord.

**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 mm Col. modello

Precompresso

**Sollecitazioni**

N	N [kN]	M [kNm]
1	126	40.9
2	126	31.4
3	93.6	44.4
4	93.6	25.4

Aggiunge Elimina

Valori Infittisci punti

**Sezioni S4:**

**Titolo:** Al.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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.[mm] 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 mm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C C32/40

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> 210,000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ‰  
ε<sub>syd</sub> 1.863 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12.25 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333 ‰  
τ<sub>c1</sub> 2.114 ‰

σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 13.38 ‰  
d 240 mm  
x 49.76 x/d 0.2073  
δ 0.7

M<sub>xRd</sub> 123.6 kNm

Verifica SLU:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 24.0 / 123.6 = 0.19 < 1.0$ , verificato.

Verifica SLV:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 27.4 / 123.6 = 0.22 < 1.0$ , verificato.

### Verifica di resistenza a taglio

#### Sezione S1:

Si predisporre la verifica per sezione non armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.1, NTC 2018).

V<sub>Ed</sub> **136.9** kN/m Taglio sollecitante

V<sub>Rd</sub> **138.3** kN/m Taglio resistente

V<sub>Ed</sub> / V<sub>Rd</sub> 1.0 < 1 **Ok**

V<sub>Rd,1</sub> 138.3 kN/m Taglio resistente componente 1

V<sub>Rd,2</sub> 118.2 kN/m Taglio resistente componente 2

Coeff. 0.18 -

k 1.96 - < 2

d 218 mm

Coeff. 100 -

r<sub>i</sub> 0.006 - < 0.02

A<sub>sl</sub> 1340.4 mm²

b<sub>w</sub> 1000 mm

σ<sub>cp</sub> 0.0 MPa

n<sub>min</sub> 0.54 -

Coeff. 0.035 -

La verifica è soddisfatta.

Sezione S3:

Si predispose la verifica per sezione non armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.1, NTC 2018).

$V_{Ed}$	<b>136.9</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>138.3</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	1.0	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rd,1}$	138.3	kN/m	Taglio resistente componente 1
$V_{Rd,2}$	118.2	kN/m	Taglio resistente componente 2
Coeff.	0.18	-	
k	1.96	-	<2
d	218	mm	
Coeff.	100	-	
$r_l$	0.006	-	<0.02
$A_{sl}$	1340.4	mm <sup>2</sup>	
$b_w$	1000	mm	
$s_{cp}$	0.0	MPa	
$n_{min}$	0.54	-	
Coeff.	0.035	-	

Si specifica che nella presente sezione sono state aggiunte, sia superiormente che inferiormente, barre di armatura in ragione di 1 + 1Ø20/15.

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S4:

Si predispose la verifica per sezione non armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.1, NTC 2018).

$V_{Ed}$	<b>180.7</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>196.4</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.9	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rd,1}$	196.4	kN/m	Taglio resistente componente 1
$V_{Rd,2}$	125.0	kN/m	Taglio resistente componente 2
Coeff.	0.18	-	
k	1.92	-	<2



**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -3.319 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  105.6 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 †  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  $\epsilon_s$  0.5031 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  $d$  240 mm  
 $\tau_{c1}$  2.114  $x/d$  0.3203  $\delta$  0.8404

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -3.629 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  115.5 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 †  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  $\epsilon_s$  0.55 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  $d$  240 mm  
 $\tau_{c1}$  2.114  $x/d$  0.3203  $\delta$  0.8404

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

**Sezione S4:**

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -1.87 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  59.51 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 †  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  $\epsilon_s$  0.2834 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  $d$  240 mm  
 $\tau_{c1}$  2.114  $x/d$  0.3203  $\delta$  0.8404

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Le verifiche sono soddisfatte.

**Incidenza delle armature**

Membratura	Armatura tot. (kg/m)	Incidenza (kg/m <sup>3</sup> /m)
Piedritto	42	140
Soletta superiore	42	140
Soletta inferiore	25	90

#### 4.4.3 Scatolare AI.03

##### 4.4.3.1 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito l'analisi dei carichi e la loro applicazione al modello di calcolo in oggetto.

##### Azioni permanenti

Le figure seguenti mostrano l'applicazione dei carichi permanenti al modello unifilare. Come precedentemente riportato, i carichi sono applicati come unitari. I valori dei carichi di progetto sono inseriti come coefficiente di combinazione.

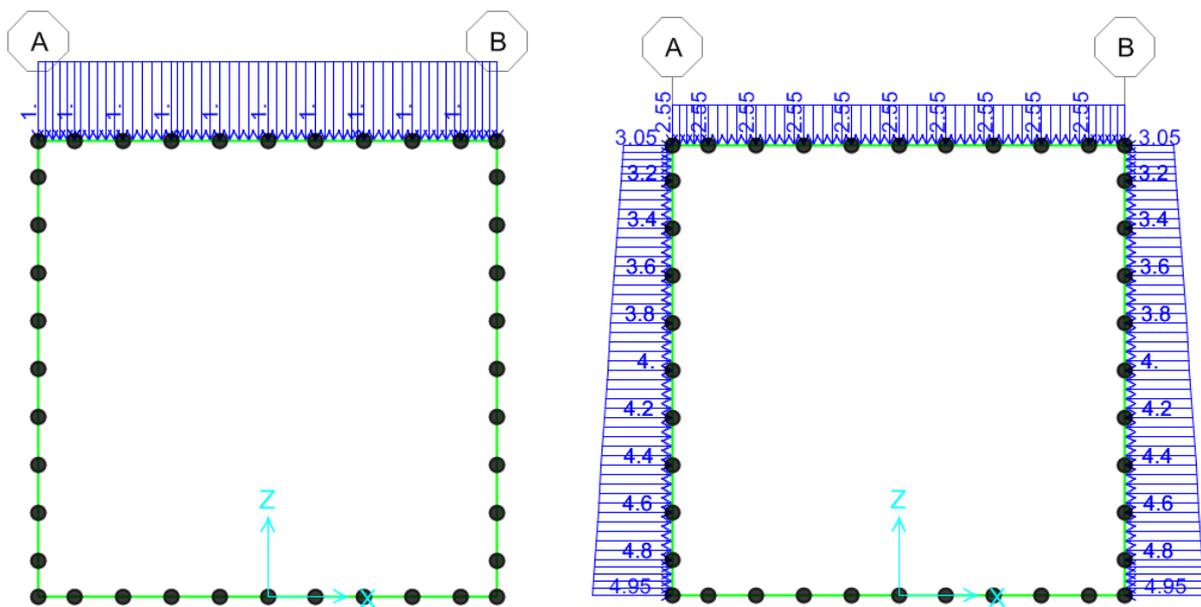


Figura 28 – Carichi permanenti: pavimentazione (sinistra), terreno (destra).

Si fa notare che per l'applicazione del carico del terreno sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Peso proprio del terreno sulla soletta superiore: sopra la soletta superiore grava uno spessore di terreno di circa 2.55 m (approssimazione per eccesso);
- Spinta a riposo del terreno sulle pareti laterali: il vertice superiore dello scatolare si trova alla profondità di 3.05 m.

I carichi sopraesposti sono esplicitati di seguito:

<b>_G1</b>	<b>57.0</b> kN/m	<b>Peso proprio</b> (computato automaticamente)
<b>0_DEAD</b>	57 kN/m	
<b>V</b>	2.28 m <sup>3</sup> /m	
<b>γ<sub>c</sub></b>	25 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico c.a.
<b>_G2</b>	<b>63.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	51 kN/m	
<b>p</b>	2.55 m	profondità terreno

d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
<b>1_Pavimentazione</b>	12 kN/m	
sp	0.5 m	spessore pacchetto pavimentazione
d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	24 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
<b>_G3</b>	<b>36.4 kN/m</b>	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	36.4 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
k0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
h1	-3.05 m	profondità asse soletta di copertura
hs	1.90 m	altezza parete ritto (asse-asse)
h2	-4.95 m	profondità asse soletta di base

### Azioni variabili da traffico

Dato l'elevato spessore di terreno al di sopra della soletta superiore dello scatolare, la diffusione delle impronte di carico porta alla definizione di un carico costante agente sulla soletta stessa.

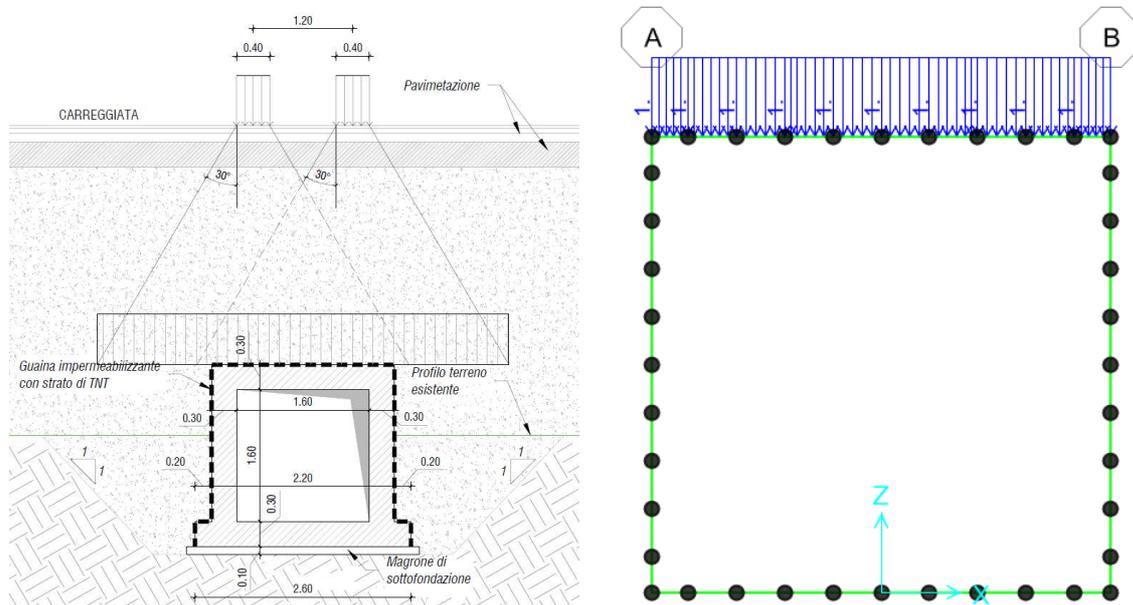


Figura 29 – Carichi da traffico – asse tandem (Schema 1).

<b>_Q_traffico_AXI</b>	<b>61 kN/m</b>	carico assiale diffuso
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	4.95 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q_ traffico_ DIS</b>	<b>9</b> kN/m	carico distribuito diffuso
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)
Larghezza	1 m	

### Incremento di spinta dovuto ad azioni variabili da traffico

Le figure che seguono riportano la schematizzazione adottata per l'incremento di spinta dovuto ai carichi da traffico sul terrapieno adiacente allo scatolare interrato.

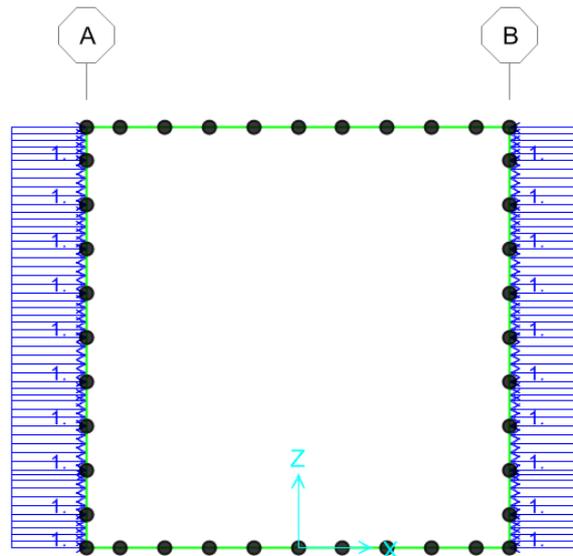


Figura 30 – Incremento di spinta dovuto alle azioni variabili da traffico.

<b>_Q_ traffico laterale</b>	<b>17.3</b> kN/m	Sovraccarico laterale su entrambi i lati
q	20 kN/m <sup>2</sup>	carico uniformemente distribuito
H	1.90 m	altezza parete ritto (asse-asse)
K0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
Larghezza	1 m	

### Azioni sismiche

Si adotta il metodo di analisi pseudo-statico proposto al §7.11.6.2.1 delle NTC2018.

Per l'analisi successiva sono stati definiti i seguenti parametri:

$k_h$	0.254 -	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127 -	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00 -	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254 g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175 g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45 -	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00 -	coeff. amplificazione topografica

### Incremento di spinta sismica del terreno

L'incremento di spinta sismica è applicata ai due piedritti come forza orizzontale per unità di lunghezza.

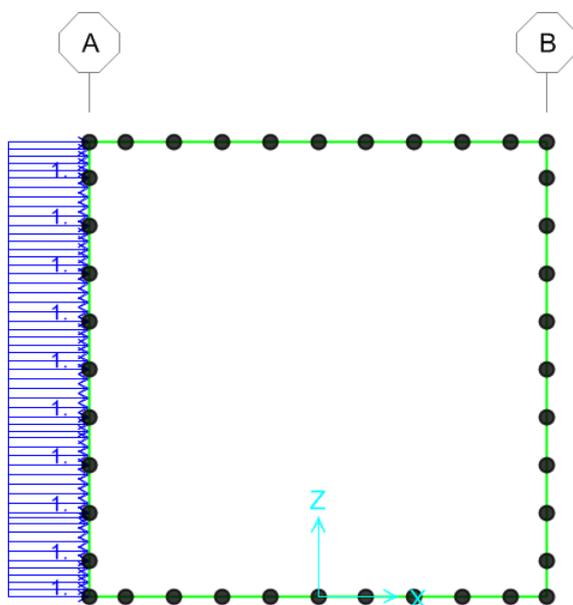


Figura 31 – Incremento di spinta sismica del terreno.

<b>Ex_Spinta dinamica (kh)</b>	<b>9.6</b>	<b>kN/m</b>	
$\Delta p_d$	9.6	kN/m	incremento di spinta dinamica (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\gamma \times h$	38.0	kN/m <sup>2</sup> /m	
h	1.90	m	altezza asse-asse
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>	Peso specifico terreno
$k_h$	0.254	-	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127	-	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00	-	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254	g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175	g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45	-	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00	-	coeff. amplificazione topografica

### Forze inerziali

Si considerano le masse inerziali associate ai carichi gravanti sullo scatolare quali: massa c.a., pavimentazione e terreno. La figura successiva mostra la risorsa di massa su cui si basa l'analisi modale. Come si vede, il peso proprio è auto-computato mentre per i pesi di pavimentazione e terreno è necessario specificarne l'entità.

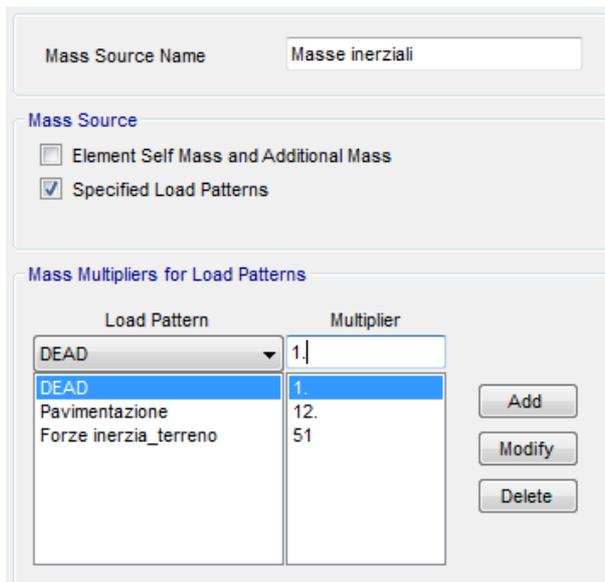


Figura 32 – Mass Source.

A tali masse sono applicati i coefficienti  $k_n$  e  $k_v$ , definiti ai paragrafi precedenti.

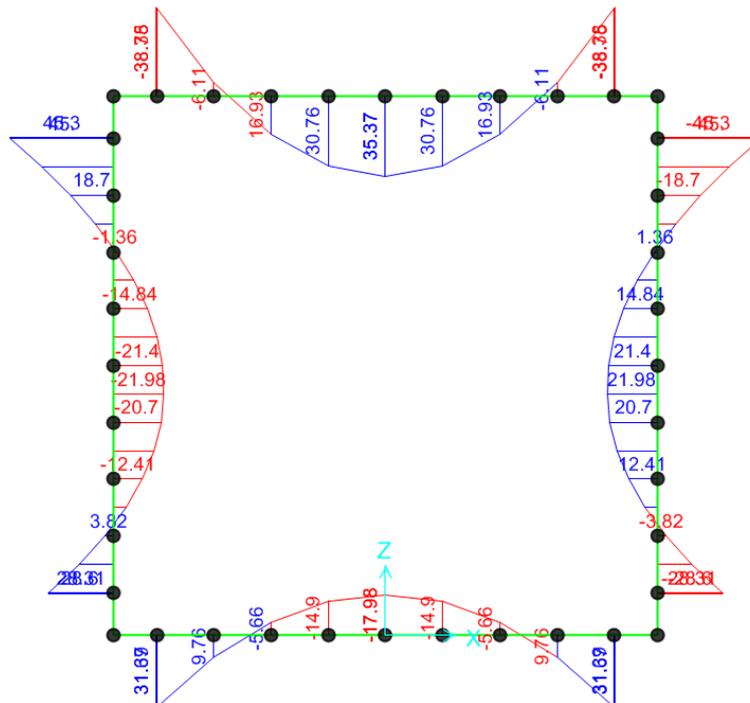
#### 4.4.3.2 Combinazioni di carico

<b>TABLE: Combination Definitions</b>			
<b>ComboName</b>	<b>ComboType</b>	<b>CaseName</b>	<b>ScaleFactor</b>
<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Unitless</b>
G1	Linear Add	0 DEAD	1
G2	Linear Add	1 Peso Terreno	20
G2		1 Pavimentazione	12
Q traffico AXI	Linear Add	2 Sovracc traffico	61
Q traffico DIS	Linear Add	2 Sovracc traffico	9
Q traffico laterale	Linear Add	2 Sovracc traffico laterale	20
Q traffico AXI+DIS	Linear Add	Q traffico AXI	1
Q traffico AXI+DIS		Q traffico DIS	1
G3 spinta statica (k0)	Linear Add	1 Spinta terreno (k0)	20
Ex spinta dinamica (kh)	Linear Add	1 Spinta terreno (kh)	38
Ex forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia x	1
Ez forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia z	1
E	Linear Add	Ex forza inerziale	1
E		Ex spinta dinamica (kh)	1
E		Ez forza inerziale	1
C SLU	Linear Add	G1	1.35
C SLU		G2	1.5
C SLU		G3 spinta statica (k0)	1.35
C SLU		Q traffico AXI+DIS	1.35
C SLU		Q traffico laterale	1.35

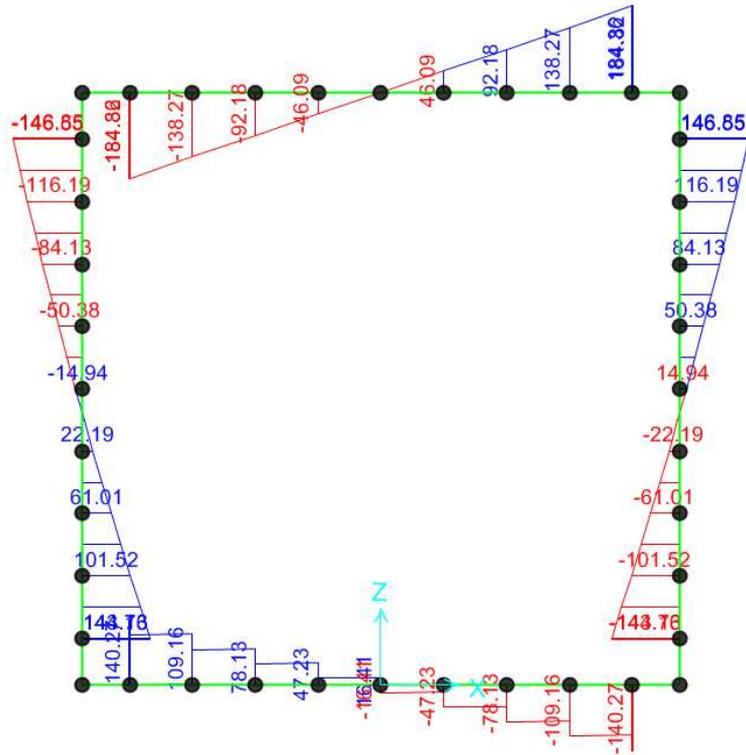
C SLE rara	Linear Add	G1	1
C SLE rara		G2	1
C SLE rara		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE rara		Q traffico laterale	1
C SLE rara		Q traffico AXI+DIS	1
C SLE frequente	Linear Add	G1	1
C SLE frequente		G2	1
C SLE frequente		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE frequente		Q traffico laterale	0.75
C SLE frequente		Q traffico AXI+DIS	0.75
C SLE q.p.	Linear Add	G1	1
C SLE q.p.		G2	1
C SLV pseudo stat	Linear Add	E	1
C SLV pseudo stat		C SLE q.p.	1

#### 4.4.3.3 Sollecitazioni – combinazioni SLU

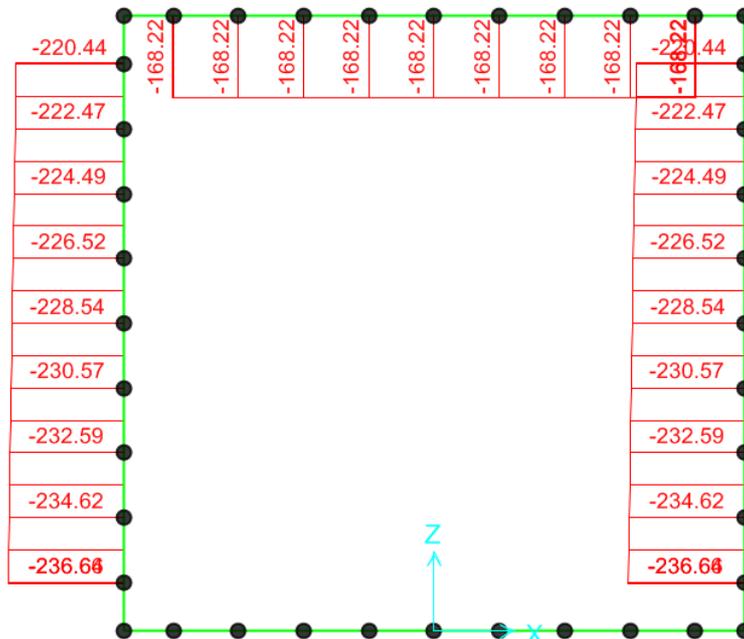
Momento flettente



Taglio

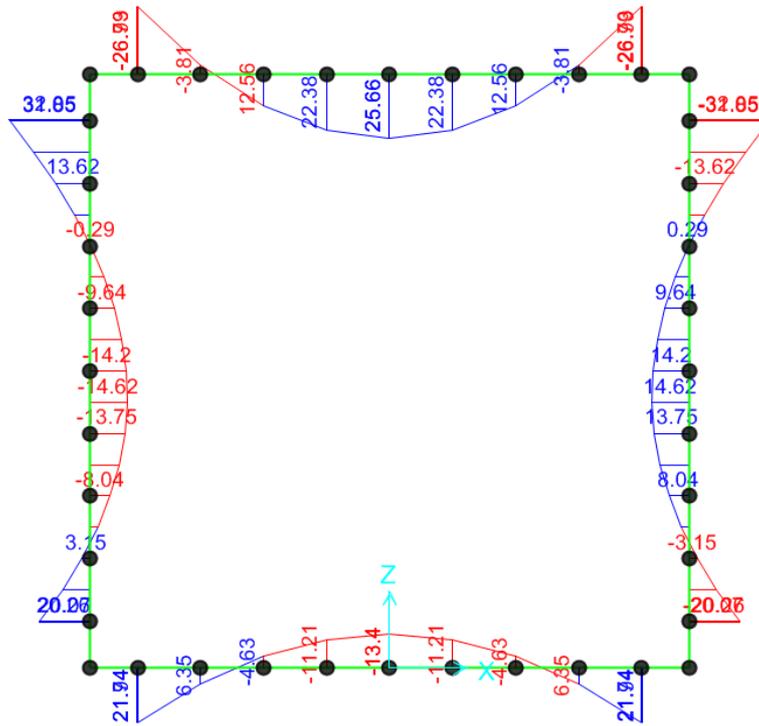


Sforzo normale

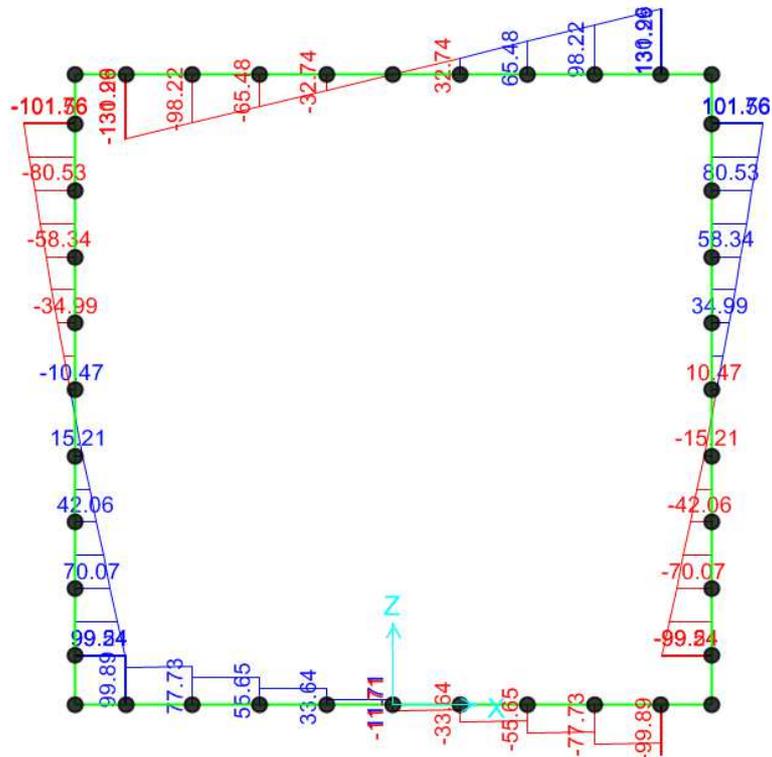


4.4.3.4 Sollecitazioni – combinazioni SLE caratteristica (rara)

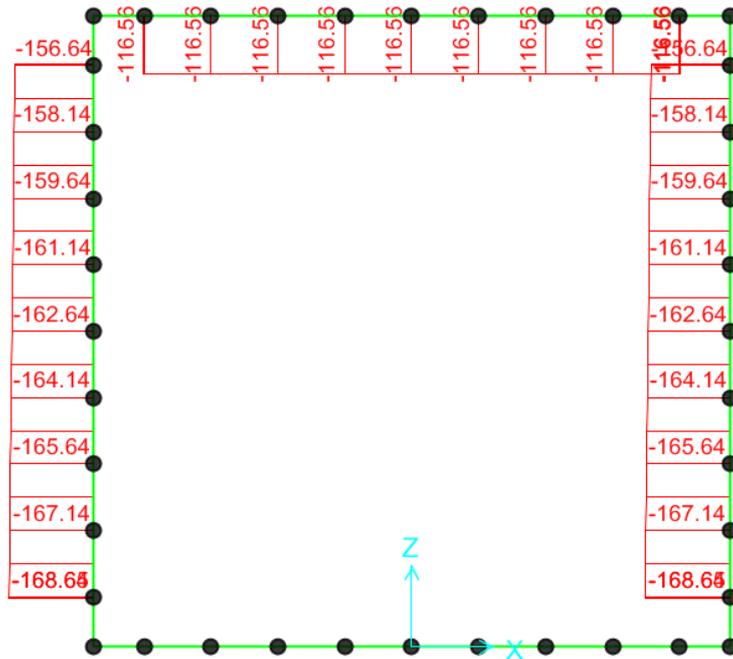
Momento flettente



Taglio

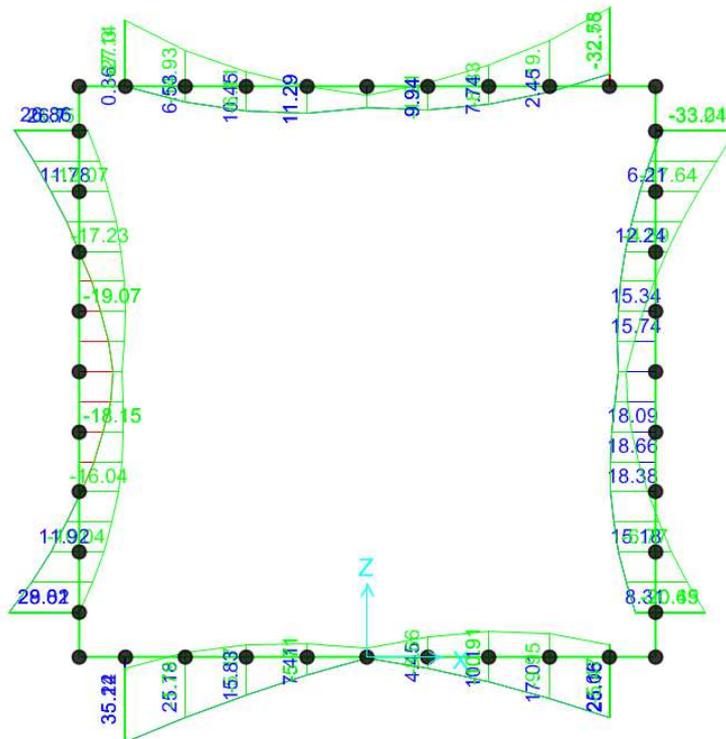


Sforzo normale

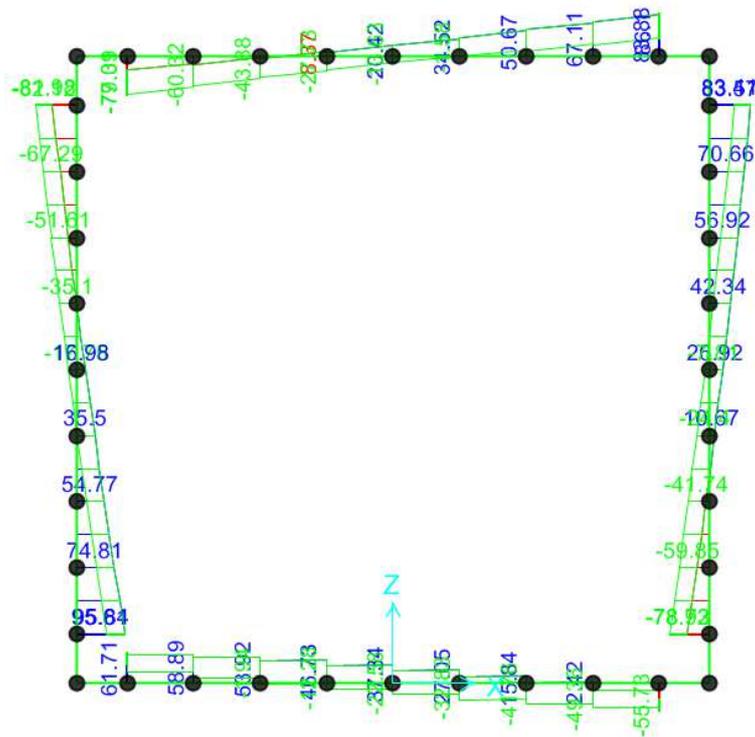


4.4.3.5 Sollecitazioni – combinazioni SLV (pseudo-statica)

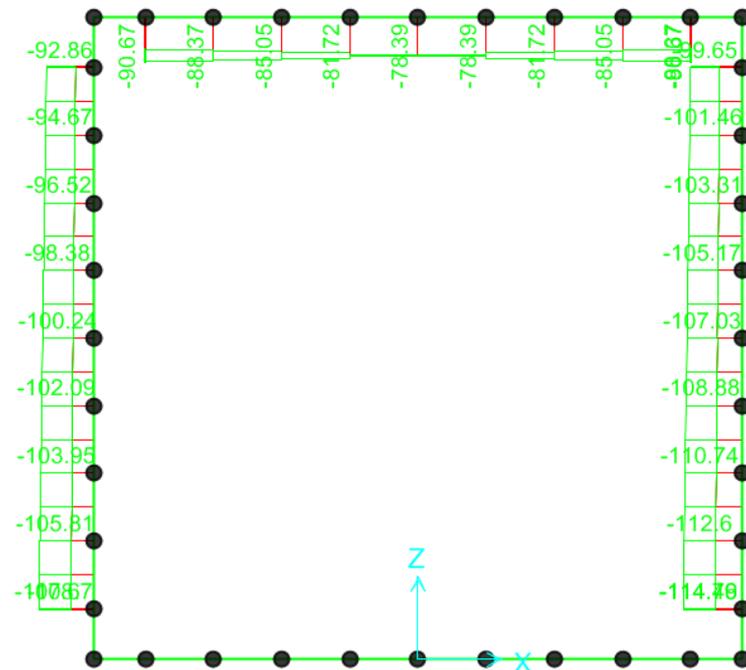
Momento flettente



Taglio



Sforzo normale



C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	29	20.2	28.8	S1 -max
V (kN/m)	144.8	99.3	95.7	
N (kN/m)	-236.7	-168.7	-110	
M (kNm/m)	35.4	25.7	9.9	S2 -max
V (kN/m)	0	0	34.5	
N (kN/m)	-168.2	-116.6	-79	
M (kNm/m)	38.8	26.8	5.1	S3 -max
V (kN/m)	184.3	130.8	83.9	
N (kN/m)	-168.2	-116.6	-88.4	
M (kNm/m)	31.7	21.9	35.1	S4 -max
V (kN/m)	140.2	99.9	58.9	
N (kN/m)	0	0	0	

Si considerano le seguenti sezioni di calcolo:

- Sezione S1: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S2: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S3: 1.00x0.30 mxm
- Sezione S4: 1.00x0.30 mxm

La struttura viene armata sia superiormente che inferiormente con 1+1Ø16/15. Come armatura di ripartizione si prevedono delle barre di diametro Ø12 disposte ad un interasse di 20 cm. Si prevede l'aggiunta, sia superiormente che inferiormente, di 1+1Ø20/15 in prossimità delle zone di incastro tra piedritti e soletta superiore.

Per le verifiche tensionali che seguono si assumono i seguenti limiti previsti da normativa:

- Lato cls:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.6 f_{ck} = 0.6 \cdot 32 = 19.2 \text{ Mpa}$
  - SLE-quasi perm.:  $\rightarrow 0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 32 = 14.4 \text{ Mpa}$
- Lato acciaio:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.8 f_{yk} = 0.6 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

### **Verifiche agli SLU statici e sismici (SLV)**

Verifica di resistenza a presso-flessione

Sezione S1:

**Titolo:** AI.03 - Soletta superiore sp. 0.30m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

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

**Materiali**  
B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

**P.to applicazione N**  
Centro Baricentro cls  
Coord. [mm] 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 mm Col. modello

M<sub>xRd</sub> 123.6 kN m  
 $\sigma_c$  -18.13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  13.38 ‰  
d 240 mm  
x 49.76 x/d 0.2073  
 $\delta$  0.7

Precompresso

N	N [kN]	M [kNm]
1	236.7	29
2	110	28.8

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S2 e S3:

**Titolo:** AI.03 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

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

**Materiali**  
B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

**P.to applicazione N**  
Centro Baricentro cls  
Coord. [mm] 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 mm Col. modello

M<sub>xRd</sub> 123.6 kN m  
 $\sigma_c$  -18.13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  13.38 ‰  
d 240 mm  
x 49.76 x/d 0.2073  
 $\delta$  0.7

Precompresso

N	N [kN]	M [kNm]
1	162.2	35.4
2	162.2	38.8
3	79	9.9
4	88.4	5.1

Sezioni S4:

**Titolo:** AI.03 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

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

**P.to applicazione N:**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] 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 mm **Col. modello**

Precompresso

**Materiali:** B450C C32/40

$E_{su}$  67.5 %  $E_{c2}$  2 %  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $E_{cu}$  3.5  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $E_{syd}$  1.863 %  $\sigma_{c,adm}$  12.25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

$M_{xRd}$  123.6 kN m  
 $\sigma_c$  -18.13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 %  
 $\epsilon_s$  13.38 %  
 $d$  240 mm  
 $x$  49.76  $x/d$  0.2073  
 $\delta$  0.7

Verifica SLU:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 31.7 / 123.6 = 0.26 < 1.0$ , verificato.

Verifica SLV:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 35.1 / 123.6 = 0.28 < 1.0$ , verificato.

### Verifica di resistenza a taglio

#### Sezione S1:

Si predispose la verifica per sezione non armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.1, NTC 2018).

$V_{Ed}$  **144.8** kN/m Taglio sollecitante

$V_{Rd}$  **164.3** kN/m Taglio resistente

$V_{Ed} / V_{Rd}$  0.9 < 1 **Ok**

$V_{Rd,1}$  164.3 kN/m Taglio resistente componente 1

$V_{Rd,2}$  125.0 kN/m Taglio resistente componente 2

Coeff. 0.18 -

k 1.92 - < 2

d 238 mm

Coeff. 100 -

$r_i$  0.008 - < 0.02

$A_{sl}$  2010.6 mm<sup>2</sup>

$b_w$  1000 mm

$s_{cp}$  0.0 MPa

$n_{min}$  0.53 -

Coeff. 0.035 -

La verifica è soddisfatta.

Sezione S3:

Si predispose la verifica per sezione non armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.1, NTC 2018).

$V_{Ed}$	<b>184.7</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>208.4</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.9	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rd,1}$	208.4	kN/m	Taglio resistente componente 1
$V_{Rd,2}$	125.0	kN/m	Taglio resistente componente 2

Coeff.	0.18	-	
k	1.92	-	<2
d	238	mm	
Coeff.	100	-	
$r_l$	0.017	-	<0.02
$A_{sl}$	4105.0	mm <sup>2</sup>	
$b_w$	1000	mm	
$s_{cp}$	0.0	MPa	
$n_{min}$	0.53	-	
Coeff.	0.035	-	

Si specifica che nella presente sezione sono state aggiunte, sia superiormente che inferiormente, barre di armatura in ragione di 1 + 1Ø20/15.

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S4:

Si predispose la verifica per sezione non armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.1, NTC 2018).

$V_{Ed}$	<b>140.2</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>164.3</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.9	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rd,1}$	164.3	kN/m	Taglio resistente componente 1
$V_{Rd,2}$	125.0	kN/m	Taglio resistente componente 2

Coeff.	0.18	-	
--------	------	---	--

k	1.92	-	<2
d	238	mm	
Coeff.	100	-	
$r_i$	0.008	-	<0.02
$A_{sl}$	2010.6	mm <sup>2</sup>	
$b_w$	1000	mm	
$S_{cp}$	0.0	MPa	
$n_{min}$	0.53	-	
Coeff.	0.035	-	

La verifica è soddisfatta.

### Verifiche agli SLE

#### Verifica tensioni flettenti

#### Sezione S1:

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	300	1	1347	60
			2	1347	240

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

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

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

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

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

**Materiali:** B450C C32/40

$E_{su}$ 67.5 %	$E_{c2}$ 2 %	$\sigma_c$ -2.213 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$E_{cu}$ 3.5	$\sigma_s$ 70.43 N/mm <sup>2</sup>
$E_s$ 210.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 18.13	
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8	$\epsilon_s$ 0.3354 %
$\epsilon_{syd}$ 1.863 %	$\sigma_{c,adm}$ 12.25	d 240 mm
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.7333	x 76.88 x/d 0.3203
$\tau_{c1}$ 2.114		$\delta$ 0.8404

**Verifica** **N° iterazioni:** 4  Precompresso

#### Sezioni S2 e S3:

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	300

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1347	60
2	1347	240

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -3.319 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  105.6 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 †  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  $\epsilon_s$  0.5031 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  $d$  240 mm  
 $\tau_{c1}$  2.114  $x/d$  76.88  $x/d$  0.3203  
 $\delta$  0.8404

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	300

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1347	60
2	1347	240

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -3.629 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  115.5 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 †  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  $\epsilon_s$  0.55 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  $d$  240 mm  
 $\tau_{c1}$  2.114  $x/d$  76.88  $x/d$  0.3203  
 $\delta$  0.8404

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

**Sezione S4:**

**Titolo:** AI.02 - Soletta superiore sp. 0.30m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	300

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1347	60
2	1347	240

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -1.87 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  59.51 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 †  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  $\epsilon_s$  0.2834 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  $d$  240 mm  
 $\tau_{c1}$  2.114  $x/d$  76.88  $x/d$  0.3203  
 $\delta$  0.8404

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Le verifiche sono soddisfatte.

**Incidenza delle armature**

Membratura	Armatura tot. (kg/m)	Incidenza (kg/m <sup>3</sup> /m)
Piedritto	42	140
Soletta superiore	42	140
Soletta inferiore	25	90

**4.4.4 Scatolare AI.04**

#### 4.4.4.1 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito l'analisi dei carichi e la loro applicazione al modello di calcolo in oggetto.

##### Azioni permanenti

Le figure seguenti mostrano l'applicazione dei carichi permanenti al modello unifilare. Come precedentemente riportato, i carichi sono applicati come unitari. I valori dei carichi di progetto sono inseriti come coefficiente di combinazione.

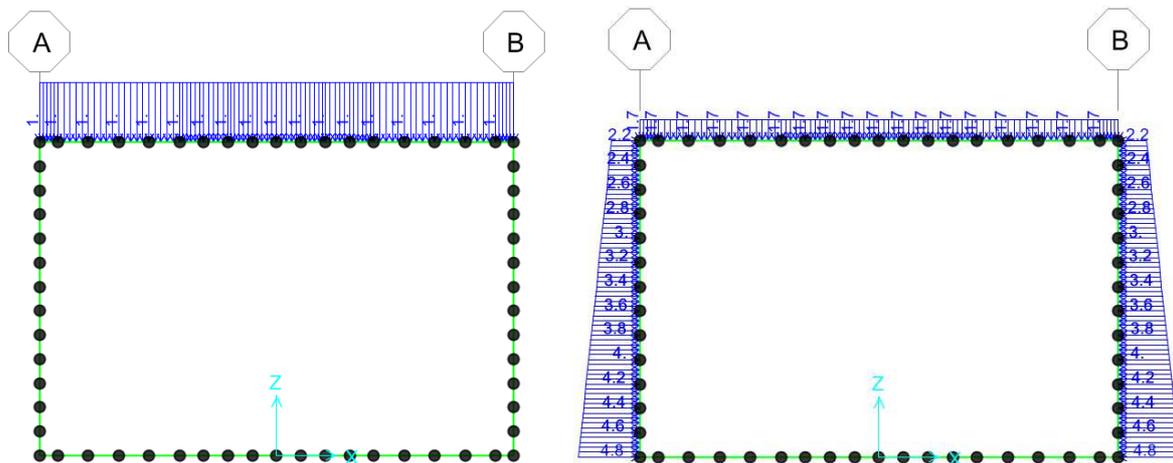


Figura 33 – Carichi permanenti: pavimentazione (sinistra), terreno (destra).

Si fa notare che per l'applicazione del carico del terreno sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Peso proprio del terreno sulla soletta superiore: sopra la soletta superiore grava uno spessore di terreno di circa 1.70 m (approssimazione per eccesso);
- Spinta a riposo del terreno sulle pareti laterali: il vertice superiore dello scatolare si trova alla profondità di 2.20 m.

I carichi sopraesposti sono esplicitati di seguito:

<b>_G1</b>	<b>130.0</b> kN/m	<b>Peso proprio</b> (computato automaticamente)
<b>0_DEAD</b>	130 kN/m	
<b>V</b>	5.2 m <sup>3</sup> /m	
$\gamma_c$	25 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico c.a.
<b>_G2</b>	<b>46.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	34 kN/m	
<b>p</b>	1.7 m	profondità terreno
<b>d</b>	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
<b>1_Pavimentazione</b>	12 kN/m	
<b>sp</b>	0.5 m	spessore pacchetto pavimentazione
<b>d</b>	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	24 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno

<b>_G3</b>	<b>31.9</b> kN/m	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	31.9 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
k0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
h1	-2.2 m	profondità asse soletta di copertura
hs	2.60 m	altezza parete ritto (asse-asse)
h2	-4.8 m	profondità asse soletta di base

### Azioni variabili da traffico

Dato l'elevato spessore di terreno al di sopra della soletta superiore dello scatolare, la diffusione delle impronte di carico porta alla definizione di un carico costante agente sulla soletta stessa.

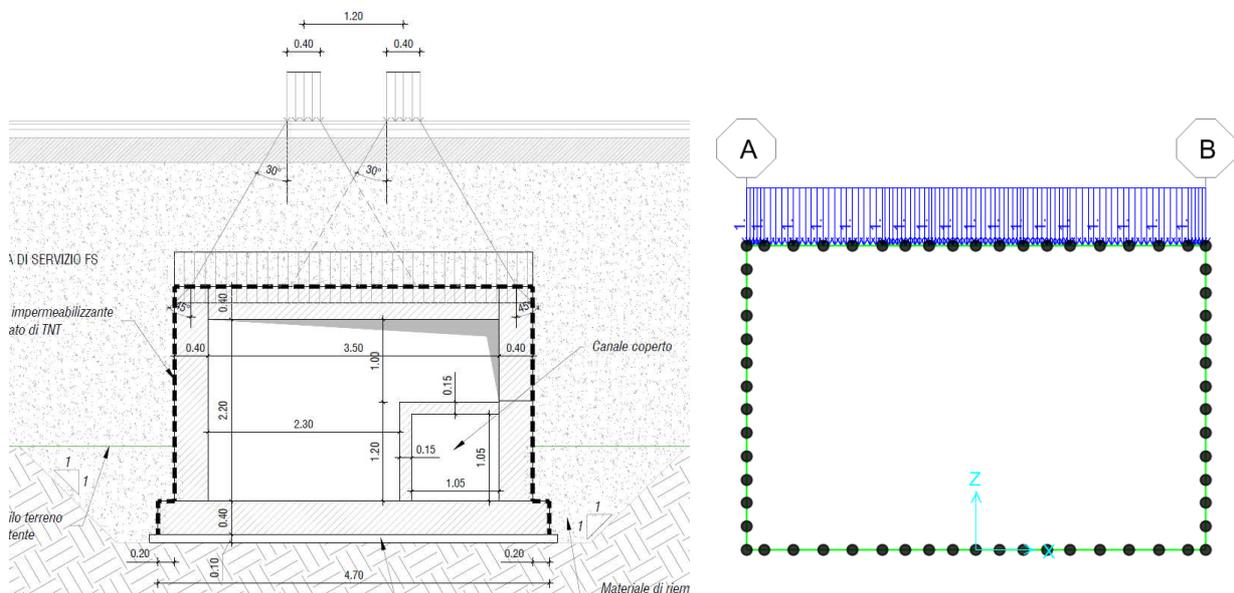


Figura 34 – Carichi da traffico – asse tandem (Schema 1).

<b>_Q traffico_AXI</b>	<b>70</b> kN/m	<b>carico assiale diffuso</b>
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	4.3 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q traffico_DIS</b>	<b>9</b> kN/m	<b>carico distribuito diffuso</b>
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)
Larghezza	1 m	

### Incremento di spinta dovuto ad azioni variabili da traffico

Le figure che seguono riportano la schematizzazione adottata per l'incremento di spinta dovuto ai carichi da traffico sul terrapieno adiacente allo scatolare interrato.

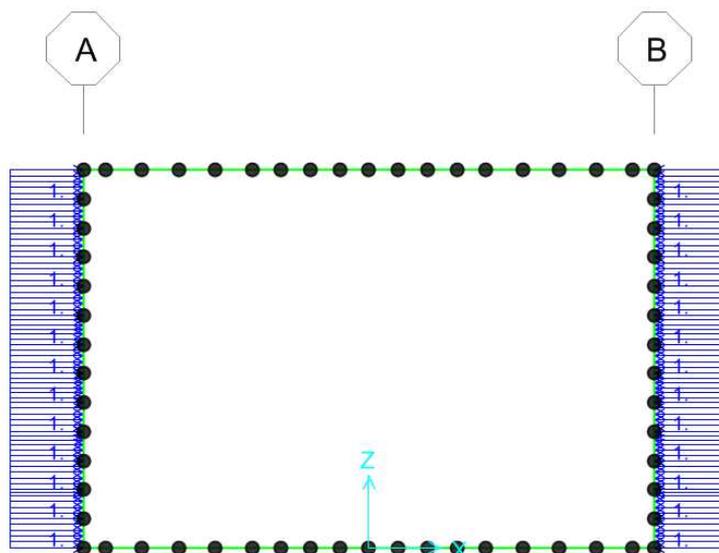


Figura 35 – Incremento di spinta dovuto alle azioni variabili da traffico.

<b>_Q_ traffico laterale</b>	<b>23.7</b> kN/m	Sovraccarico laterale su entrambi i lati
q	20 kN/m <sup>2</sup>	carico uniformemente distribuito
H	2.60 m	altezza parete ritto (asse-asse)
K0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
Larghezza	1 m	

### Azioni sismiche

Si adotta il metodo di analisi pseudo-statico proposto al §7.11.6.2.1 delle NTC2018.

Per l'analisi successiva sono stati definiti i seguenti parametri:

$k_h$	0.254 -	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127 -	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00 -	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254 g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175 g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45 -	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00 -	coeff. amplificazione topografica

### Incremento di spinta sismica del terreno

L'incremento di spinta sismica è applicata ai due piedritti come forza orizzontale per unità di lunghezza.

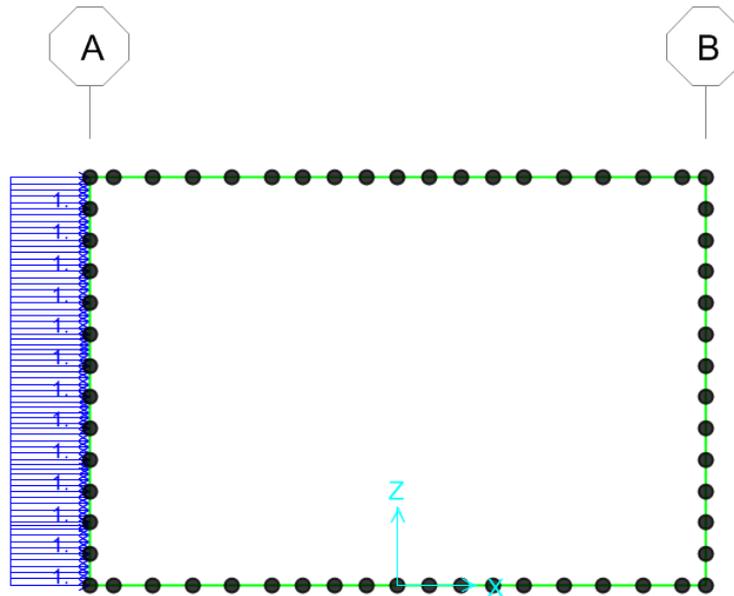
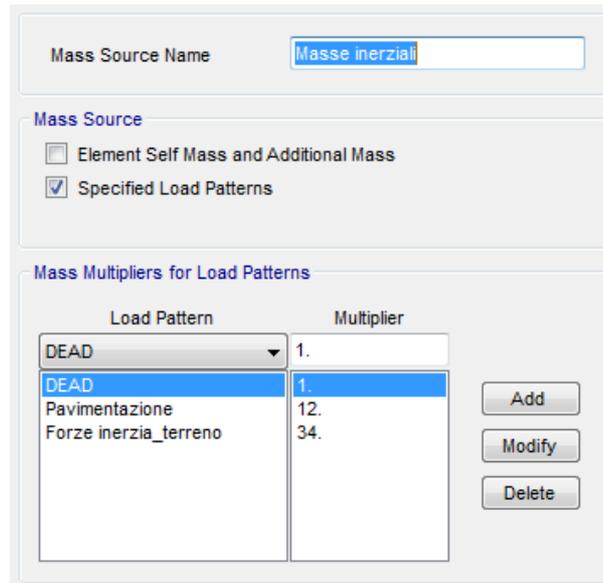


Figura 36 – Incremento di spinta sismica del terreno.

<b>_Ex_ Spinta dinamica (kh)</b>	<b>13.2</b>	<b>kN/m</b>	
$\Delta p_d$	13.2	kN/m	incremento di spinta dinamica (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\gamma \times h$	52.0	kN/m <sup>2</sup> /m	
h	2.60	m	altezza asse-asse
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>	Peso specifico terreno
$k_h$	0.254	-	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127	-	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00	-	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254	g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175	g	accelerazione SLV
$S_s$	1.45	-	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00	-	coeff. amplificazione topografica

### Forze inerziali

Si considerano le masse inerziali associate ai carichi gravanti sullo scatolare quali: massa c.a., pavimentazione e terreno. La figura successiva mostra la risorsa di massa su cui si basa l'analisi modale. Come si vede, il peso proprio è auto-computato mentre per i pesi di pavimentazione e terreno è necessario specificarne l'entità.



Mass Source Name:

Mass Source

Element Self Mass and Additional Mass

Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
Pavimentazione	12.
Forze inerzia_terreno	34.

Buttons: Add, Modify, Delete

Figura 37 – Mass Source.

A tali masse sono applicati i coefficienti  $k_n$  e  $k_v$ , definiti ai paragrafi precedenti.

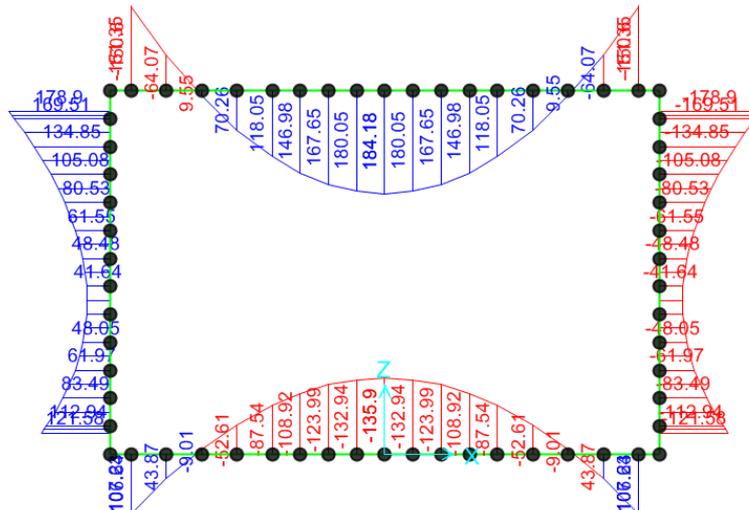
#### 4.4.4.2 Combinazioni di carico

TABLE: Combination Definitions			
ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Unitless
G1	Linear Add	0 DEAD	1
G2	Linear Add	1 Peso Terreno	20
G2		1 Pavimentazione	12
Q traffico AXI	Linear Add	2 Sovracc traffico	70
Q traffico DIS	Linear Add	2 Sovracc traffico	9
Q traffico laterale	Linear Add	2 Sovracc traffico laterale	20
Q traffico AXI+DIS	Linear Add	Q traffico AXI	1
Q traffico AXI+DIS		Q traffico DIS	1
G3 spinta statica (k0)	Linear Add	1 Spinta terreno (k0)	20
Ex spinta dinamica (kh)	Linear Add	1 Spinta terreno (kh)	52
Ex forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia x	1
Ez forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia z	1
E	Linear Add	Ex forza inerziale	1
E		Ex spinta dinamica (kh)	1
E		Ez forza inerziale	1
C SLU	Linear Add	G1	1.35
C SLU		G2	1.5
C SLU		G3 spinta statica (k0)	1.35
C SLU		Q traffico AXI+DIS	1.35

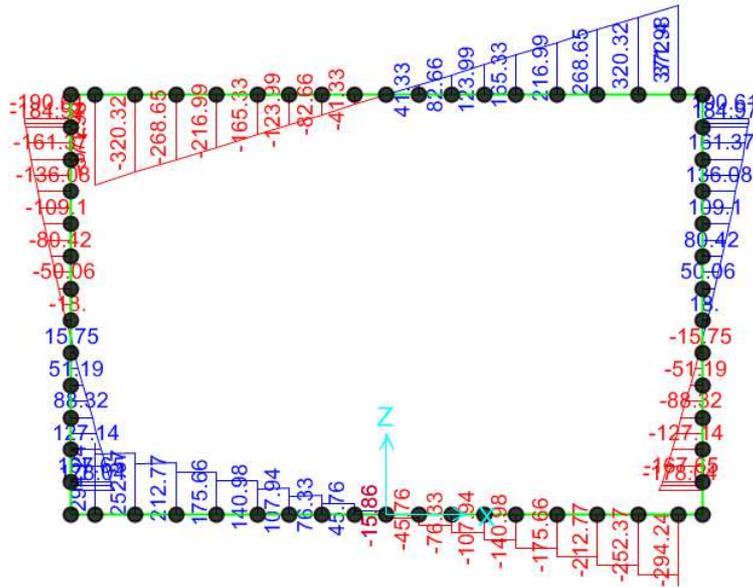
C SLU		Q traffico laterale	1.35
C SLE rara	Linear Add	G1	1
C SLE rara		G2	1
C SLE rara		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE rara		Q traffico laterale	1
C SLE rara		Q traffico AXI+DIS	1
C SLE frequente	Linear Add	G1	1
C SLE frequente		G2	1
C SLE frequente		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE frequente		Q traffico laterale	0.75
C SLE frequente		Q traffico AXI+DIS	0.75
C SLE q.p.	Linear Add	G1	1
C SLE q.p.		G2	1
C SLV pseudo stat	Linear Add	E	1
C SLV pseudo stat		C SLE q.p.	1

#### 4.4.4.3 Sollecitazioni – combinazioni SLU

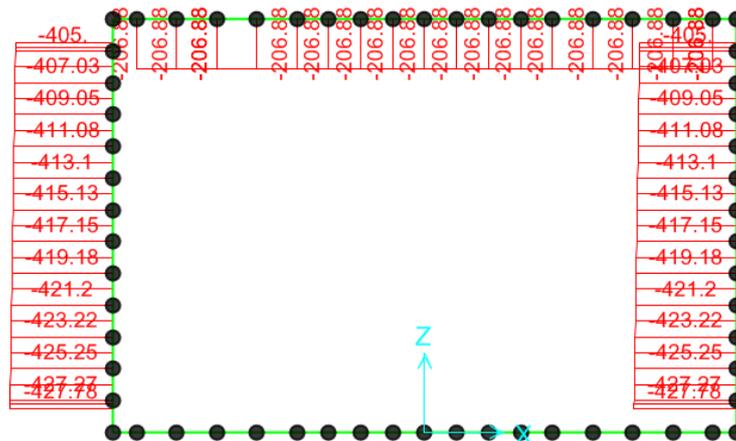
Momento flettente



Taglio

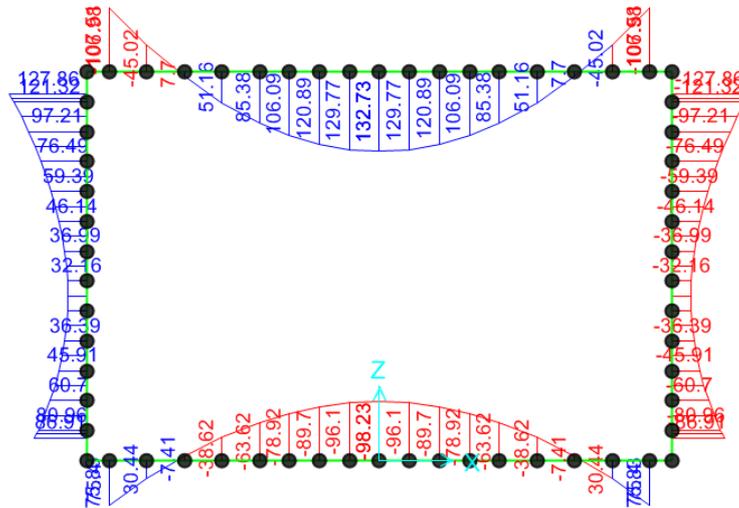


Sforzo normale

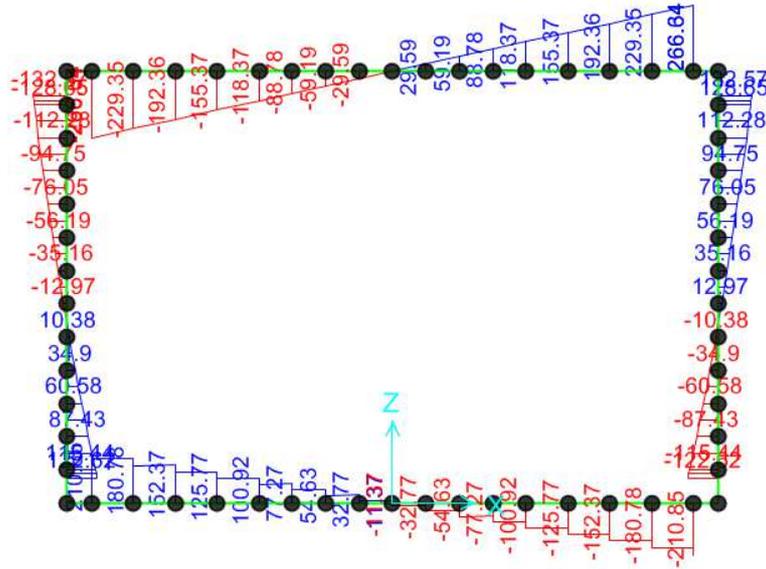


4.4.4.4 Sollecitazioni – combinazioni SLE caratteristica (rara)

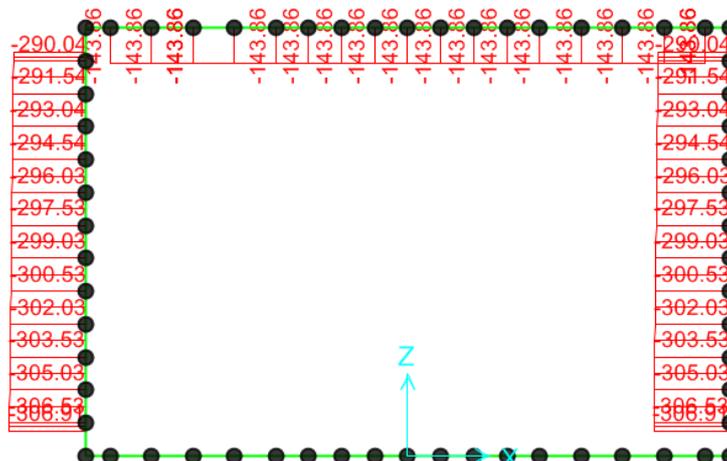
Momento flettente



Taglio

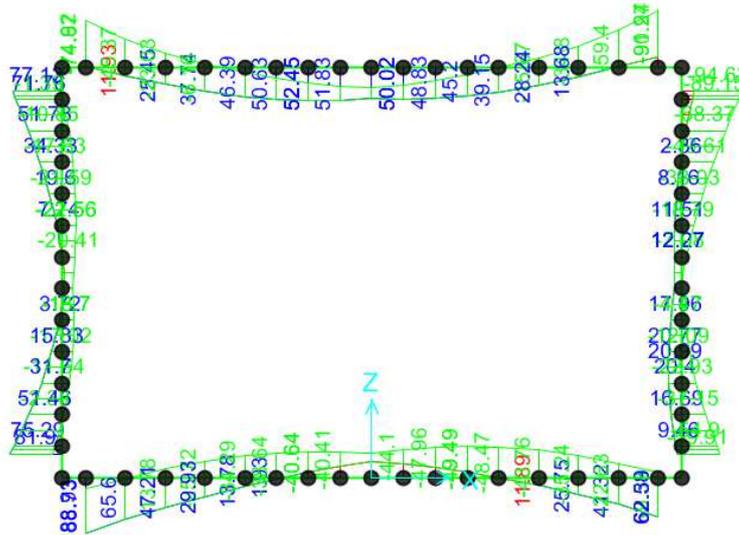


Sforzo normale

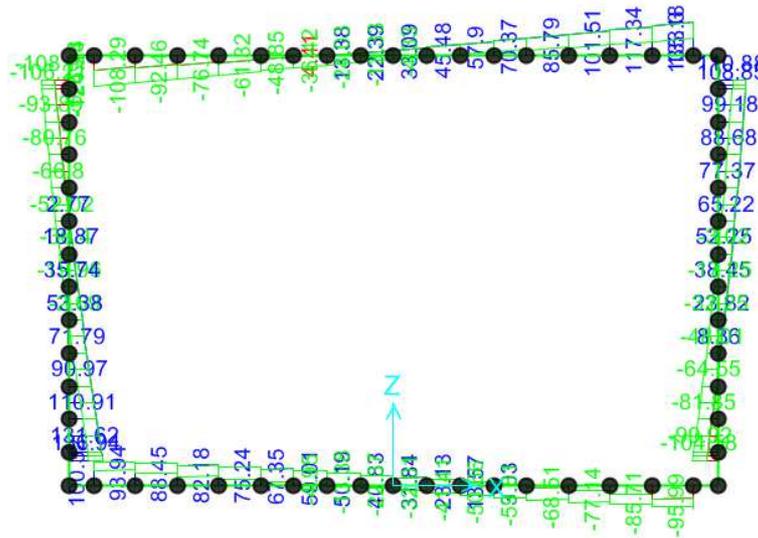


4.4.4.5 Sollecitazioni – combinazioni SLV (pseudo-statica)

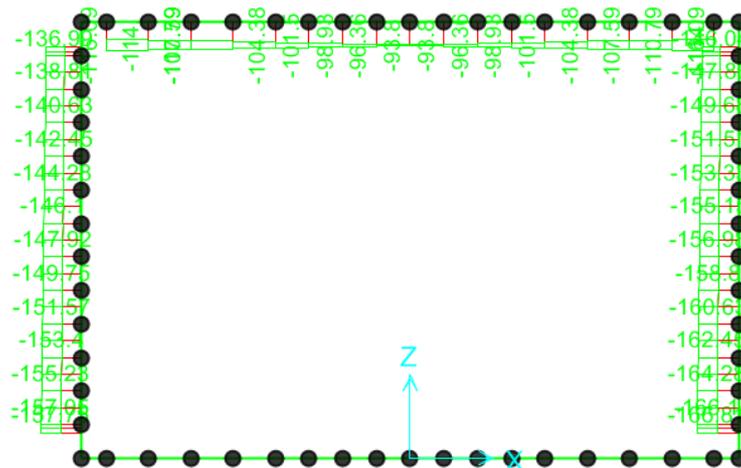
Momento flettente



Taglio



Sforzo normale



#### 4.4.4.6 Verifica sezioni in c.a.

Le caratteristiche di sollecitazione espresse nelle precedenti figure, sono riassunte nella tabella che segue:

C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	121.6	88.9	82	S1 -max
V (kN/m)	167.7	119	126.9	
N (kN/m)	-427.8	-306.5	-157.1	
M (kNm/m)	184.2	132.7	51.8	S2 -max
V (kN/m)	0	0	33.1	
N (kN/m)	-206.9	-143.9	-96	
M (kNm/m)	150.3	107	90.9	S3 -max
V (kN/m)	367	266.6	133	
N (kN/m)	-206.9	-143.9	-114	
M (kNm/m)	106.7	77	88.9	S4 -max
V (kN/m)	253	210	93.9	
N (kN/m)	0	0	0	

Si considerano le seguenti sezioni di calcolo:

- Sezione S1: 1.00x0.40 mxm
- Sezione S2: 1.00x0.40 mxm
- Sezione S3: 1.00x0.40 mxm
- Sezione S4: 1.00x0.40 mxm

La struttura viene armata sia superiormente che inferiormente con 1+1Ø16/15. Come armatura di ripartizione si prevedono delle barre di diametro Ø12 disposte ad un interasse di 20 cm. Si prevede un'armatura trasversale composta da 4 spilli al metro di diametro Ø12 (passo specificato nelle verifiche) in prossimità delle zone di incastro.

Per le verifiche tensionali che seguono si assumono i seguenti limiti previsti da normativa:

- Lato cls:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.6 f_{ck} = 0.6 \cdot 32 = 19.2 \text{ Mpa}$
  - SLE-quasi perm.:  $\rightarrow 0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 32 = 14.4 \text{ Mpa}$
- Lato acciaio:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.8 f_{yk} = 0.6 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

**Verifiche agli SLU statici e sismici (SLV)**

Verifica di resistenza a presso-flessione

Sezione S1:

**TITOLO:** AI.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\epsilon_{su} = 67.5 \%$ ,  $\epsilon_{c2} = 2 \%$ ,  $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_{cu} = 3.5$ ,  $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{cd} = 18.13$ ,  $E_s/E_c = 15$ ,  $f_{cc}/f_{cd} = 0.8$ ,  $\epsilon_{syd} = 1.863 \%$ ,  $\sigma_{c,adm} = 12.25$ ,  $\sigma_{s,adm} = 255 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{co} = 0.7333$ ,  $\tau_{c1} = 2.114$

$\sigma_c = -18.13 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_c = 3.5 \%$ ,  $\epsilon_s = 20.42 \%$ ,  $d = 340 \text{ mm}$ ,  $x = 49.75$ ,  $x/d = 0.1463$ ,  $\delta = 0.7$

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

**Tipo flessione:** Retta, Deviata

**Calcola MRd:** Dominio M-N

**Col. modello:** L<sub>0</sub> [mm]

**Sollecitazioni:**

N	N [kN]	M [kNm]
1	427.8	121.6
2	157.1	82

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S2 e S3:

**TITOLO:** AI.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\epsilon_{su} = 67.5 \%$ ,  $\epsilon_{c2} = 2 \%$ ,  $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_{cu} = 3.5$ ,  $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{cd} = 18.13$ ,  $E_s/E_c = 15$ ,  $f_{cc}/f_{cd} = 0.8$ ,  $\epsilon_{syd} = 1.863 \%$ ,  $\sigma_{c,adm} = 12.25$ ,  $\sigma_{s,adm} = 255 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{co} = 0.7333$ ,  $\tau_{c1} = 2.114$

$\sigma_c = -18.13 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_c = 3.5 \%$ ,  $\epsilon_s = 20.42 \%$ ,  $d = 340 \text{ mm}$ ,  $x = 49.75$ ,  $x/d = 0.1463$ ,  $\delta = 0.7$

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

**Tipo flessione:** Retta, Deviata

**Calcola MRd:** Dominio M-N

**Col. modello:** L<sub>0</sub> [mm]

**Sollecitazioni:**

N	N [kN]	M [kNm]
1	208.9	184.2
2	208.9	150.5
3	96	51.8
4	114	90.9

Sezioni S4:

**Titolo:** Al.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 mm Col. modello

M<sub>xRd</sub> 176.3 kNm

Materiali: B450C C32/40

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> 210.000 N/mm²    f<sub>cd</sub> 18.13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ‰  
ε<sub>syd</sub> 1.863 ‰    C<sub>c,adm</sub> 12.25 ‰  
C<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0.7333 ‰  
τ<sub>c1</sub> 2.114

σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 20.42 ‰  
d 340 mm  
x 49.75    x/d 0.1463  
δ 0.7

Precompresso

Verifica SLU:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 106.7 / 176.3 = 0.60 < 1.0$ , verificato.

Verifica SLV:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 88.9 / 176.3 = 0.50 < 1.0$ , verificato.

Verifica di resistenza a taglio

Sezione S1:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

∅ <sub>st</sub>	12	mm	diametro staffa
A <sub>sw</sub> = 1∅ A <sub>st</sub>	113.1	mm²	area staffa
b <sub>st</sub>	4	bracci	(spilli)
A <sub>st</sub>	452.4	mm² / m	
α <sub>st_deg</sub>	90	°	
α <sub>st_rad</sub>	1.57	rad	
s	250	mm	Passo staffe
cotg(θ)	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

V <sub>Ed</sub>	167.7	kN/m	Taglio sollecitante
V <sub>Rd</sub>	541.7	kN/m	Taglio resistente
V <sub>Ed</sub> / V <sub>Rd</sub>	0.3	< 1	<b>Ok</b>

V <sub>Rsd</sub>	541.7	kN/m	Taglio trazione resistente
V <sub>Rcd</sub>	956.7	kN/m	Taglio compressione resistente
V <sub>Rsd</sub> - V <sub>Rcd</sub>	-415.0	-	Rottura lato acciaio

Coeff.	0.9	-
d	340.0	mm
A <sub>sw</sub>	452.4	mm²
s	250.0	mm
cotg(α)	0.000	-

sen( $\alpha$ )	1.000	-
Coeff.	0.90	-
d	340	mm
b <sub>w</sub>	1000	mm
$\alpha_c$	1	-
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa
v	0.5	-
cotg( $\alpha$ )	0.000	-

La verifica è soddisfatta.

### Sezione S3:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\emptyset_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\emptyset A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
b <sub>st</sub>	4	bracci	(spilli)
A <sub>st</sub>	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
s	250	mm	Passo staffe
cotg( $\theta$ )	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

V <sub>Ed</sub>	<b>367</b>	kN/m	Taglio sollecitante
V <sub>Rd</sub>	<b>541.7</b>	kN/m	Taglio resistente
V <sub>Ed</sub> / V <sub>Rd</sub>	0.7	<1	<b>Ok</b>
V <sub>Rsd</sub>	541.7	kN/m	Taglio trazione resistente
V <sub>Rcd</sub>	956.7	kN/m	Taglio compressione resistente
V <sub>Rsd</sub> - V <sub>Rcd</sub>	-415.0	-	Rottura lato acciaio

Coeff.	0.9	-
d	340.0	mm
A <sub>sw</sub>	452.4	mm <sup>2</sup>
s	250.0	mm
cotg( $\alpha$ )	0.000	-
sen( $\alpha$ )	1.000	-

Coeff.	0.90	-
d	340	mm
b <sub>w</sub>	1000	mm
$\alpha_c$	1	-
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa

$v$  0.5 -  
 $\cotg(\alpha)$  0.000 -

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S4:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\varnothing_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\varnothing A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
$b_{st}$	4	bracci	(spilli)
$A_{st}$	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
$s$	250	mm	Passo staffe
$\cotg(\theta)$	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

$V_{Ed}$	<b>253</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>541.7</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.5	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rsd}$	541.7	kN/m	Taglio trazione resistente
$V_{Rcd}$	956.7	kN/m	Taglio compressione resistente
$V_{Rsd} - V_{Rcd}$	-415.0	-	Rottura lato acciaio
Coeff.	0.9	-	
$d$	340.0	mm	
$A_{sw}$	452.4	mm <sup>2</sup>	
$s$	250.0	mm	
$\cotg(\alpha)$	0.000	-	
$\text{sen}(\alpha)$	1.000	-	
Coeff.	0.90	-	
$d$	340	mm	
$b_w$	1000	mm	
$\alpha_c$	1	-	
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa	
$v$	0.5	-	
$\cotg(\alpha)$	0.000	-	

La verifica è soddisfatta.

**Verifiche agli SLE**

Verifica tensioni flettenti

Sezione S1:

**TITOLO:** AI.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

**P.to applicazione N:** Centro

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\sigma_c$  -5.429 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  216.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  1.03 ‰  
d 340 mm  
x 93 x/d 0.2735  
 $\delta$  0.7819

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Sezioni S2 e S3:

**TITOLO:** AI.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

**P.to applicazione N:** Centro

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\sigma_c$  -8.104 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  322.9 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  1.537 ‰  
d 340 mm  
x 93 x/d 0.2735  
 $\delta$  0.7819

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

**TITOLO:** AI.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

**P.to applicazione N:** Centro

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

**Materiali:** B450C, C32/40

$\sigma_c$  -6.534 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  260.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  1.24 ‰  
d 340 mm  
x 93 x/d 0.2735  
 $\delta$  0.7819

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Sezione S4:

**Titolo:** AI.04 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

**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.[mm] xN: 0 yN: 0

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $\sigma_c$  -4.702 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  $\sigma_s$  187.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$  210,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  18.13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

**Verifica:** N° iterazioni: 4

Precompresso

Le verifiche sono soddisfatte.

### Incidenza delle armature

Membratura	Armatura tot. (kg/m)	Incidenza (kg/m <sup>3</sup> /m)
Piedritto	40	100
Soletta superiore	40	100
Soletta inferiore	40	100

## 4.4.5 Scatolare AI.05

### 4.4.5.1 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito l'analisi dei carichi e la loro applicazione al modello di calcolo in oggetto.

### Azioni permanenti

Le figure seguenti mostrano l'applicazione dei carichi permanenti al modello unifilare. Come precedentemente riportato, i carichi sono applicati come unitari. I valori dei carichi di progetto sono inseriti come coefficiente di combinazione.

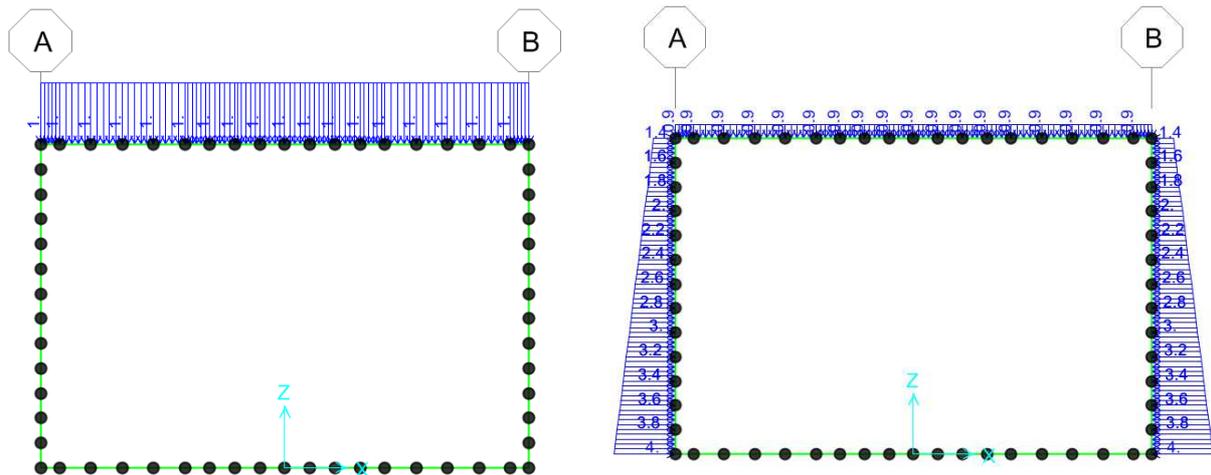


Figura 38 – Carichi permanenti: pavimentazione (sinistra), terreno (destra).

Si fa notare che per l'applicazione del carico del terreno sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Peso proprio del terreno sulla soletta superiore: sopra la soletta superiore grava uno spessore di terreno di circa 0.90 m (approssimazione per eccesso);
- Spinta a riposo del terreno sulle pareti laterali: il vertice superiore dello scatolare si trova alla profondità di 1.40 m.

Per non appesantire la trattazione non si riporta la vista dell'assegnazione di carico del terreno nel caso di ricoprimento minimo. In questa condizione il peso proprio del terreno sulla soletta superiore è stato valutato considerando uno spessore pari a 0.60 m, mentre per la spinta a riposo sulle pareti laterali la profondità del vertice superiore dello scatolari risulta 1.10 m sotto l'estradosso della pavimentazione.

I carichi sopraesposti sono esplicitati di seguito:

<b>_G1</b>	<b>130.0</b> kN/m	<b>Peso proprio</b> (computato automaticamente)
<b>0_DEAD</b>	130 kN/m	
V	5.2 m <sup>3</sup> /m	
$\gamma_c$	25 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico c.a.

<b>_G2_max</b>	<b>30.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	18 kN/m	
p	0.9 m	profondità terreno
d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno

<b>_G2_min</b>	<b>24.0</b> kN/m	<b>Carico permanente portato</b>
<b>1_Peso terreno</b>	12 kN/m	
p	0.6 m	profondità terreno
d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno

<b>1_Pavimentazione</b>	12 kN/m	
sp	0.5 m	spessore pacchetto pavimentazione
d	1.0 m	striscia un metro
$\gamma_s$	24 kN/m <sup>3</sup>	peso terreno

<b>_G3_max</b>	<b>24.6</b> kN/m	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	24.6 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
k0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
h1	-1.4 m	profondità asse soletta di copertura
hs	2.60 m	altezza parete ritto (asse-asse)
h2	-4 m	profondità asse soletta di base

<b>_G3_min</b>	<b>21.9</b> kN/m	<b>Spinta terreno laterale - riposo</b>
<b>1_Spinta terreno</b>	21.9 kN/m	spinta terreno a riposo
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\phi$	33 °	angolo d'attrito
k0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
h1	-1.1 m	profondità asse soletta di copertura
hs	2.60 m	altezza parete ritto (asse-asse)
h2	-3.7 m	profondità asse soletta di base

### Azioni variabili da traffico

Dato l'elevato spessore di terreno sopra la soletta superiore dello scatolare nel caso di massimo ricoprimento, la diffusione delle impronte di carico porta alla definizione di un carico costante agente sulla soletta stessa. Per la condizione di minimo ricoprimento si considerano due configurazioni di carico (si vedano figure successive): carico diffuso centrato e carico diffuso posto in posizione eccentrica.

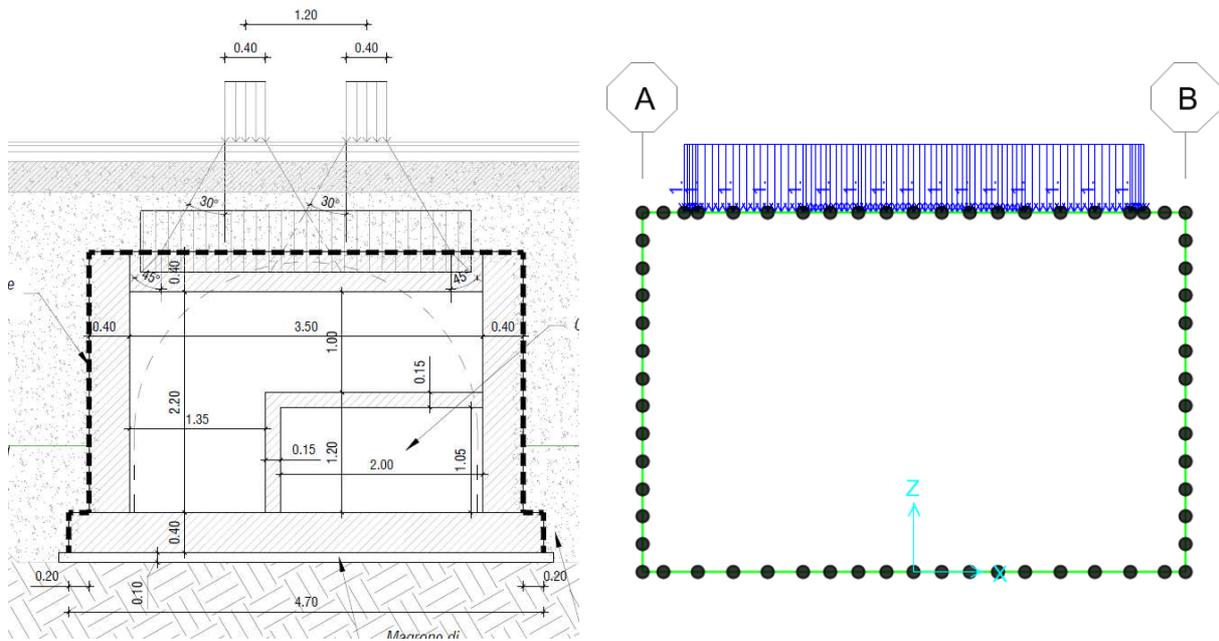


Figura 39 – Carichi da traffico centrati nella condizione di minimo ricopimento– asse tandem (Schema 1).

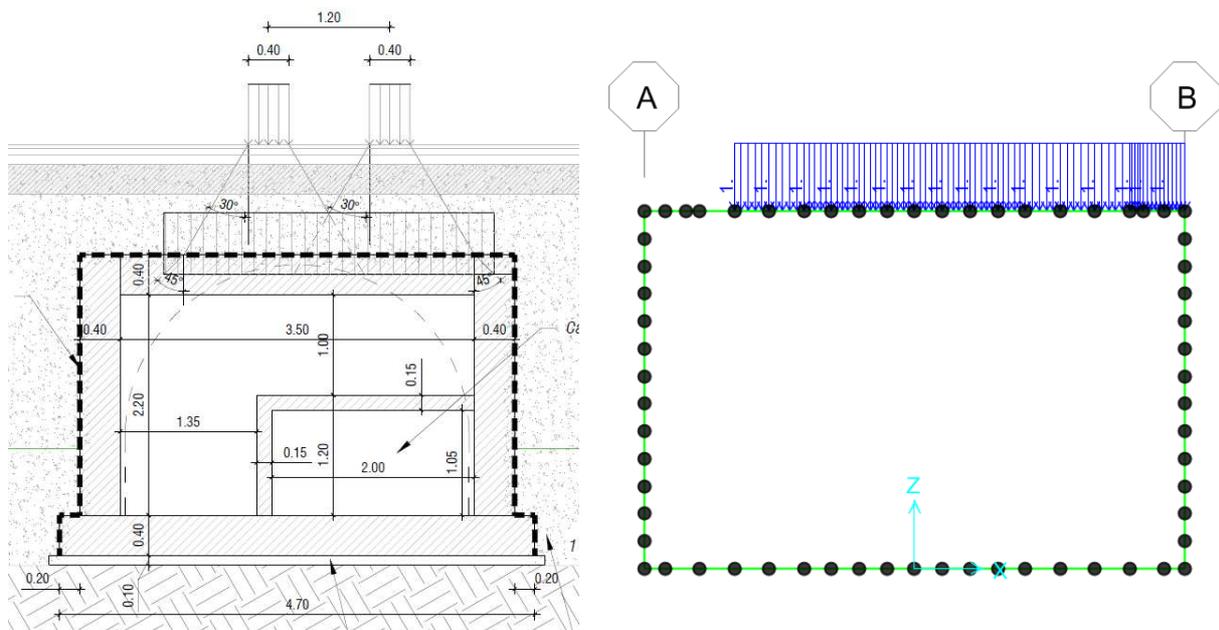


Figura 40 – Carichi da traffico eccentrici nella condizione di minimo ricopimento– asse tandem (Schema 1).

In funzione dello spessore di ricopimento dello scatolare, l'impronta di diffusione del carico tandem cambia.

- Massimo ricopimento:

<b>_Q_traffico_AXI</b>	<b>77</b> kN/m	carico assiale diffuso
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	3.9 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q_traffico_DIS</b>	<b>9</b> kN/m	carico distribuito diffuso
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)
Larghezza	1 m	
-	<u>Minimo ricoprimento:</u>	

<b>_Q_traffico_AXI</b>	<b>83</b> kN/m	carico assiale diffuso
Asse schema 1	300 kN	asse tandem (schema 1)
Impronta di carico diffusa	3.6 m	

Concomitante con tale azione ci considera il carico uniformemente distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

<b>_Q_traffico_DIS</b>	<b>9</b> kN/m	carico distribuito diffuso
Asse schema 1	9 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito (schema 1)
Larghezza	1 m	

### Incremento di spinta dovuto ad azioni variabili da traffico

Le figure che seguono riportano la schematizzazione adottata per l'incremento di spinta dovuto ai carichi da traffico sul terrapieno adiacente allo scatolare interrato.

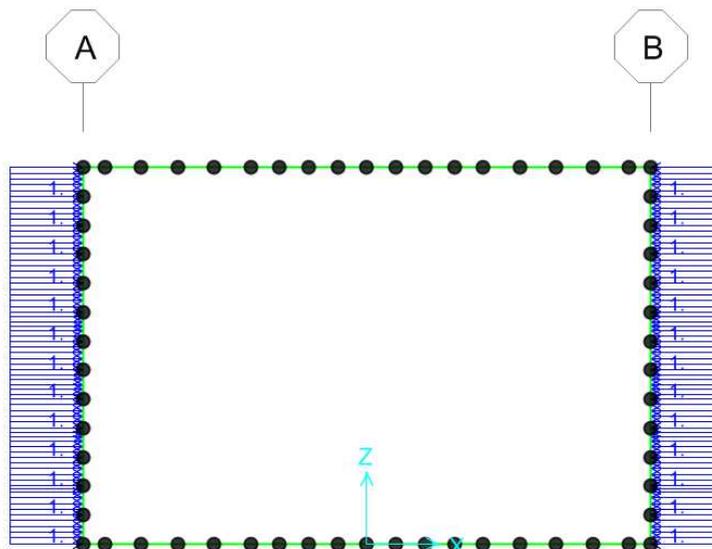


Figura 41 – Incremento di spinta dovuto alle azioni variabili da traffico.

<b>_Q_traffico laterale</b>	<b>23.7</b> kN/m	Sovraccarico laterale su entrambi i lati
q	20 kN/m <sup>2</sup>	carico uniformemente distribuito
H	2.60 m	altezza parete ritto (asse-asse)
K0	0.455 -	coeff. di spinta a riposo
Larghezza	1 m	

### Azioni sismiche

Si adotta il metodo di analisi pseudo-statico proposto al §7.11.6.2.1 delle NTC2018.

Per l'analisi successiva sono stati definiti i seguenti parametri:

$k_h$	0.254 -	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127 -	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00 -	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254 g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175 g	accelerazione SLV
$S_S$	1.45 -	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00 -	coeff. amplificazione topografica

### Incremento di spinta sismica del terreno

L'incremento di spinta sismica è applicata ai due piedritti come forza orizzontale per unità di lunghezza.

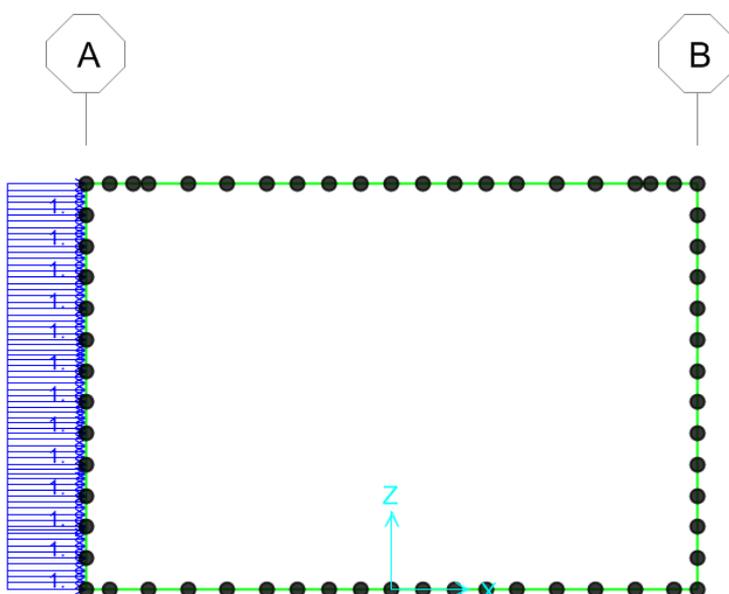


Figura 42 – Incremento di spinta sismica del terreno.

<b>_Ex_ Spinta dinamica (kh)</b>	<b>13.2</b> kN/m	
$\Delta p_d$	13.2 kN/m	incremento di spinta dinamica (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\gamma \times h$	52.0 kN/m <sup>2</sup> /m	
$h$	2.60 m	altezza asse-asse
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	Peso specifico terreno
$k_h$	0.254 -	coeff. sismico orizzontale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$k_v$	0.127 -	coeff. sismico verticale (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$\beta_m$	1.00 -	coeff. di riduzione di $a_{max}$ (§ 7.11.6.2.1, NTC2018)
$a_{max}$	0.254 g	accelerazione massima di progetto
$a_g$	0.175 g	accelerazione SLV
$S_S$	1.45 -	coeff. amplificazione stratigrafica
$S_T$	1.00 -	coeff. amplificazione topografica

### Forze inerziali

Si considerano le masse inerziali associate ai carichi gravanti sullo scatolare quali: massa c.a., pavimentazione e terreno. La figura successiva mostra la risorsa di massa su cui si basa l'analisi modale. Come si vede, il peso proprio è auto-computato mentre per i pesi di pavimentazione e terreno è necessario specificarne l'entità.

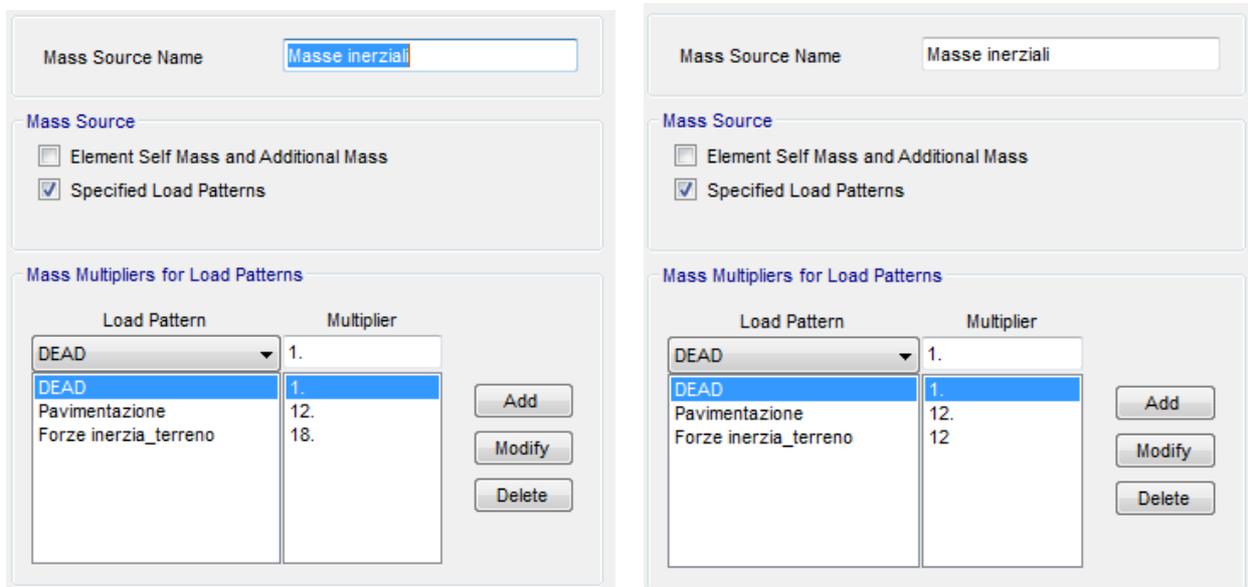


Figura 43 – Mass Sources: massimo ricoprimento (sinistra), minimo ricoprimento (destra).

A tali masse sono applicati i coefficienti  $k_n$  e  $k_v$ , definiti ai paragrafi precedenti.

#### 4.4.5.2 Combinazioni di carico

Massimo ricoprimento:

TABLE: Combination Definitions			
ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Unitless
G1	Linear Add	0 DEAD	1
G2	Linear Add	1 Peso Terreno	20
G2		1 Pavimentazione	12
Q traffico AXI	Linear Add	2 Sovracc traffico	77
Q traffico DIS	Linear Add	2 Sovracc traffico	9
Q traffico laterale	Linear Add	2 Sovracc traffico laterale	20
Q traffico AXI+DIS	Linear Add	Q traffico AXI	1
Q traffico AXI+DIS		Q traffico DIS	1
G3 spinta statica (k0)	Linear Add	1 Spinta terreno (k0)	20
Ex spinta dinamica (kh)	Linear Add	1 Spinta terreno (kh)	52
Ex forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia x	1
Ez forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia z	1
E	Linear Add	Ex forza inerziale	1
E		Ex spinta dinamica (kh)	1

E		Ez forza inerziale	1
C SLU	Linear Add	G1	1.35
C SLU		G2	1.5
C SLU		G3 spinta statica (k0)	1.35
C SLU		Q traffico AXI+DIS	1.35
C SLU		Q traffico laterale	1.35
C SLE rara	Linear Add	G1	1
C SLE rara		G2	1
C SLE rara		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE rara		Q traffico laterale	1
C SLE rara		Q traffico AXI+DIS	1
C SLE frequente	Linear Add	G1	1
C SLE frequente		G2	1
C SLE frequente		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE frequente		Q traffico laterale	0.75
C SLE frequente		Q traffico AXI+DIS	0.75
C SLE q.p.	Linear Add	G1	1
C SLE q.p.		G2	1
C SLV pseudo_stat	Linear Add	E	1
C SLV pseudo_stat		C SLE q.p.	1

Minimo ricoprimento:

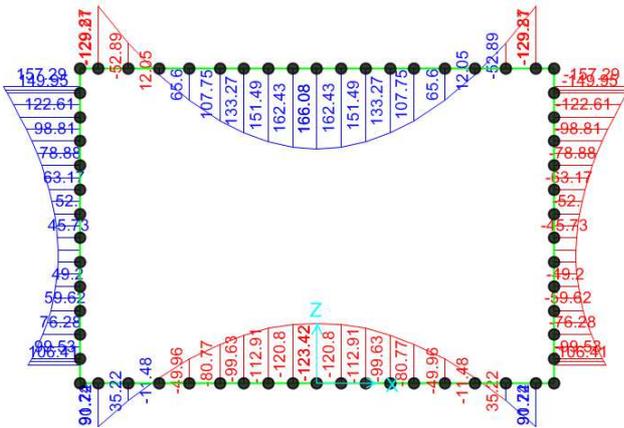
<b>TABLE: Combination Definitions</b>			
<b>ComboName</b>	<b>ComboType</b>	<b>CaseName</b>	<b>ScaleFactor</b>
<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Unitless</b>
G1	Linear Add	0 DEAD	1
G2	Linear Add	1 Peso Terreno	20
G2		1 Pavimentazione	12
Q traffico AXI centro	Linear Add	2 Sovracc traffico centro	84
Q traffico DIS	Linear Add	Sovracc traffico costante	9
Q traffico laterale	Linear Add	2 Sovracc traffico laterale	20
Q traffico AXI+DIS centro	Linear Add	Q traffico AXI centro	1
Q traffico AXI+DIS centro		Q traffico DIS	1
G3 spinta statica (k0)	Linear Add	1 Spinta terreno (k0)	20
Ex spinta dinamica (kh)	Linear Add	1 Spinta terreno (kh)	52
Ex forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia x	1
Ez forza inerziale	Linear Add	3 Inerzia z	1
E	Linear Add	Ex forza inerziale	1
E		Ex spinta dinamica (kh)	1
E		Ez forza inerziale	1
C SLU 1	Linear Add	G1	1.35
C SLU 1		G2	1.5
C SLU 1		G3 spinta statica (k0)	1.35

C SLU 1		Q traffico AXI+DIS centro	1.35
C SLU 1		Q traffico laterale	1.35
C SLE rara 1	Linear Add	G1	1
C SLE rara 1		G2	1
C SLE rara 1		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE rara 1		Q traffico laterale	1
C SLE rara 1		Q traffico AXI+DIS centro	1
C SLE frequente 1	Linear Add	G1	1
C SLE frequente 1		G2	1
C SLE frequente 1		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE frequente 1		Q traffico laterale	0.75
C SLE frequente 1		Q traffico AXI+DIS centro	0.75
C SLE q.p.	Linear Add	G1	1
C SLE q.p.		G2	1
C SLV pseudo stat	Linear Add	E	1
C SLV pseudo stat		C SLE q.p.	1
Q traffico AXI eccentr	Linear Add	Sovracc traffico eccentr	84
Q traffico AXI+DIS eccentr	Linear Add	Q traffico AXI eccentr	1
Q traffico AXI+DIS eccentr		Q traffico DIS	1
C SLU 2	Linear Add	G1	1.35
C SLU 2		G2	1.5
C SLU 2		G3 spinta statica (k0)	1.35
C SLU 2		Q traffico AXI+DIS eccentr	1.35
C SLU 2		Q traffico laterale	1.35
C SLE rara 2	Linear Add	G1	1
C SLE rara 2		G2	1
C SLE rara 2		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE rara 2		Q traffico laterale	1
C SLE rara 2		Q traffico AXI+DIS eccentr	1
C SLE frequente 2	Linear Add	G1	1
C SLE frequente 2		G2	1
C SLE frequente 2		G3 spinta statica (k0)	1
C SLE frequente 2		Q traffico laterale	0.75
C SLE frequente 2		Q traffico AXI+DIS eccentr	0.75
C ENV SLU	Envelope	C SLU 1	1
C ENV SLU		C SLU 2	1
C ENV SLE rara	Envelope	C SLE rara 1	1
C ENV SLE rara		C SLE rara 2	1

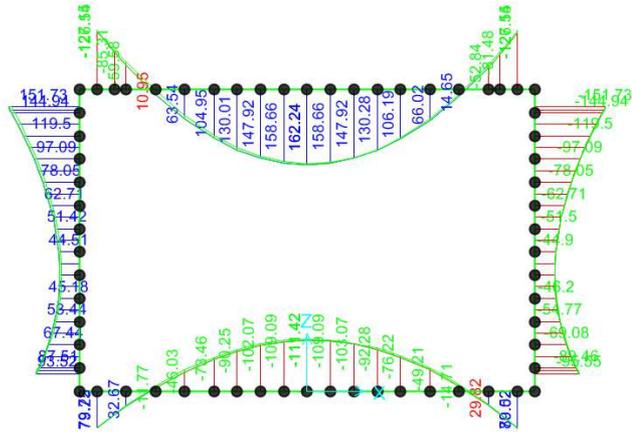
#### 4.4.5.3 Sollecitazioni – combinazioni SLU

*Momento flettente*

Ricoprimento massimo

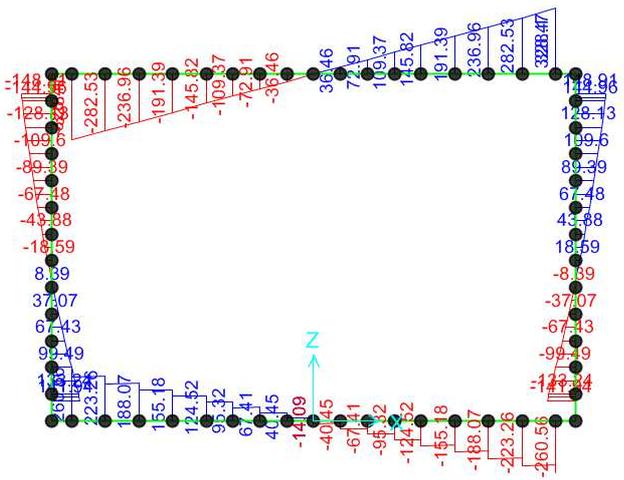


Ricoprimento minimo

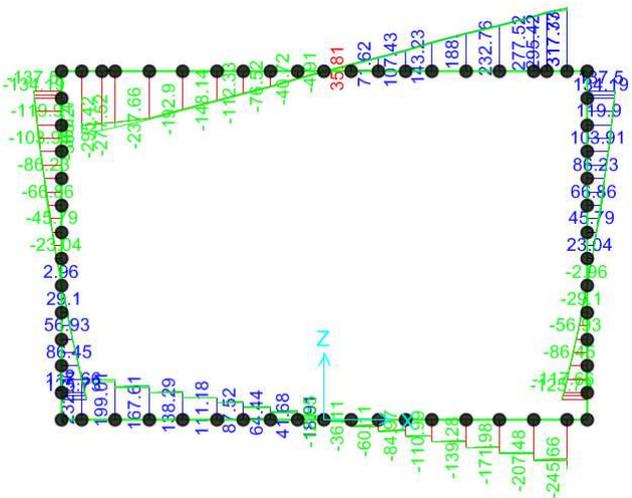


Taglio

Ricoprimento massimo

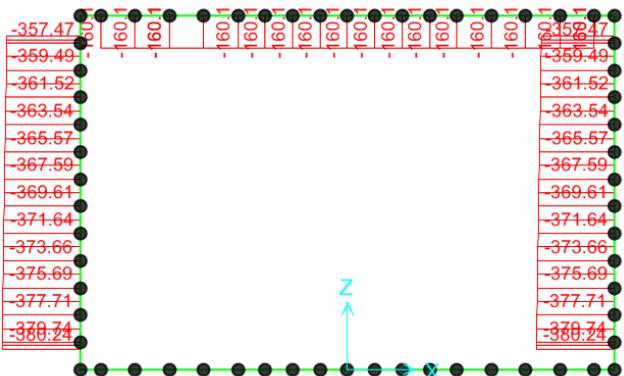


Ricoprimento minimo

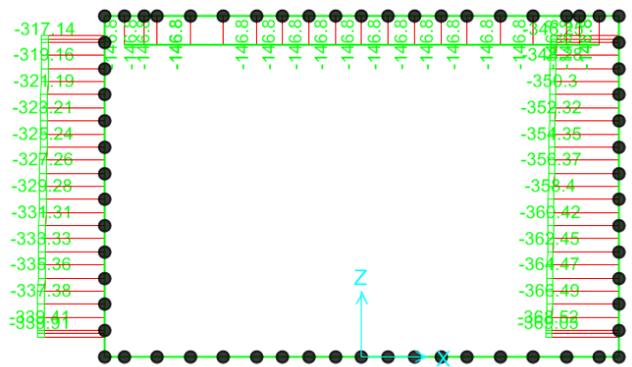


Sforzo normale

Ricoprimento massimo



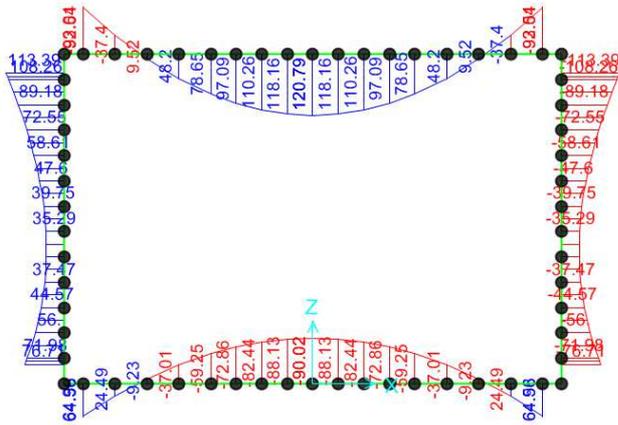
Ricoprimento minimo



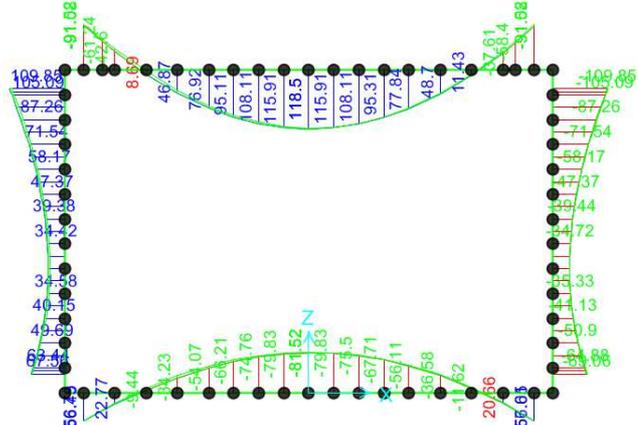
4.4.5.4 Sollecitazioni – combinazioni SLE caratteristica (rara)

Momento flettente

Ricoprimento massimo

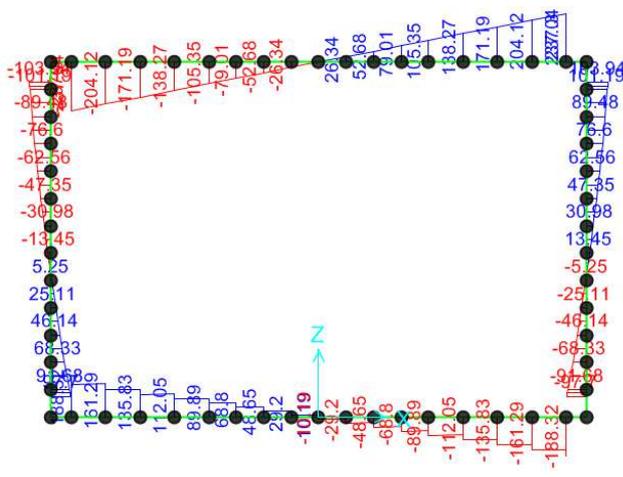


Ricoprimento minimo

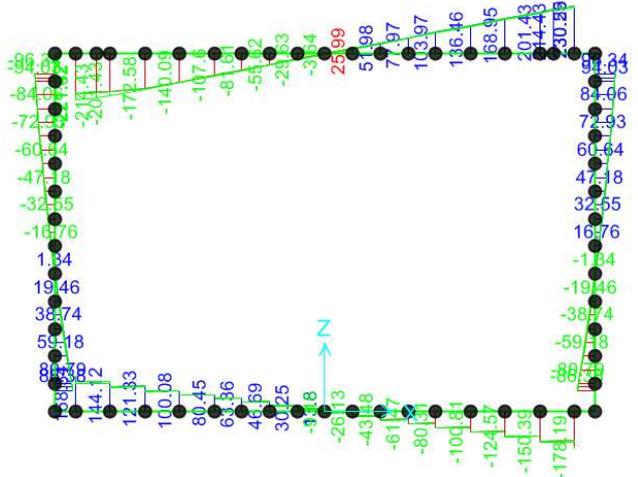


Taglio

Ricoprimento massimo



Ricoprimento minimo



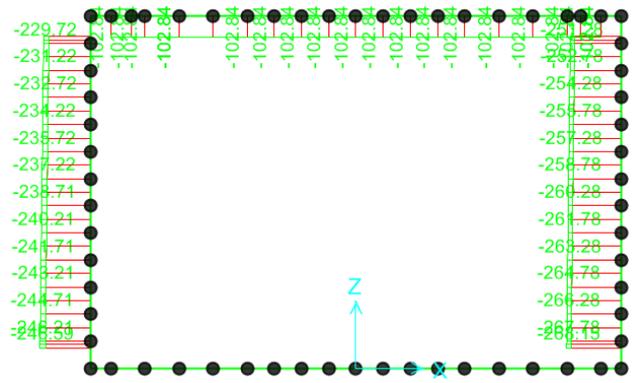
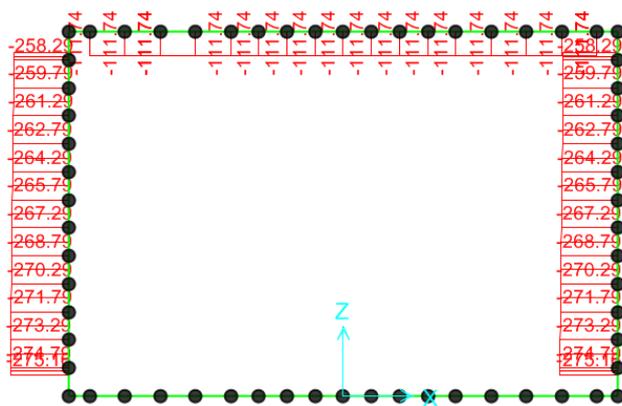
Sforzo normale

Ricoprimento massimo



Ricoprimento minimo

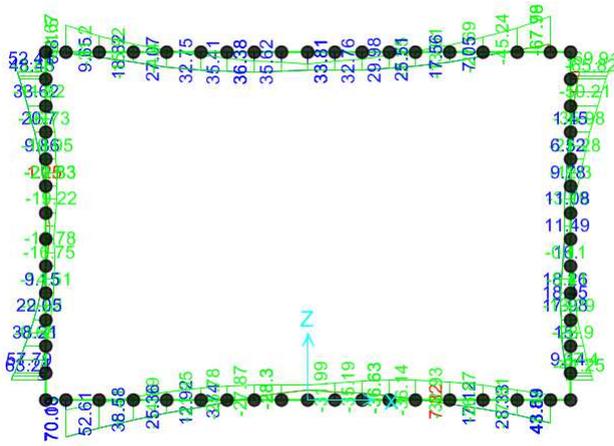




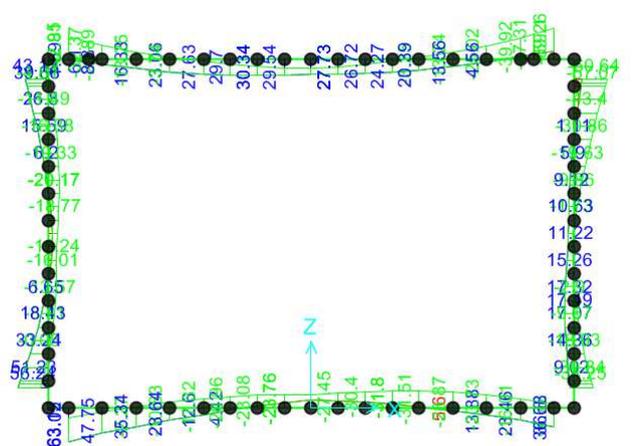
4.4.5.5 Sollecitazioni – combinazioni SLV (pseudo-statica)

Momento flettente

Ricoprimento massimo

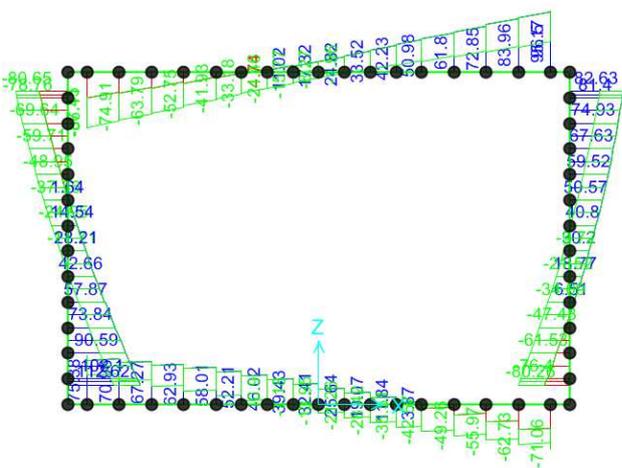


Ricoprimento minimo

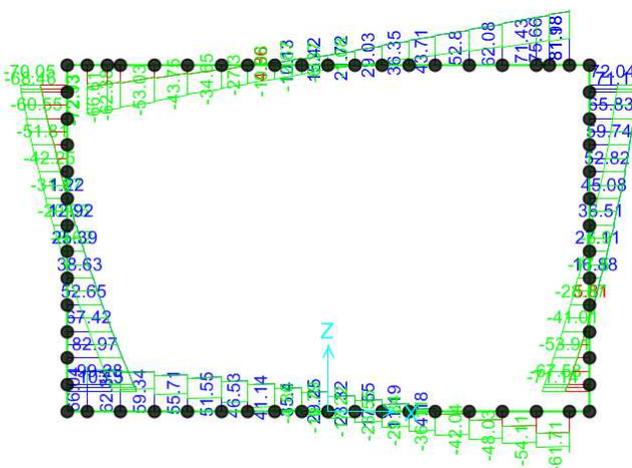


Taglio

Ricoprimento massimo

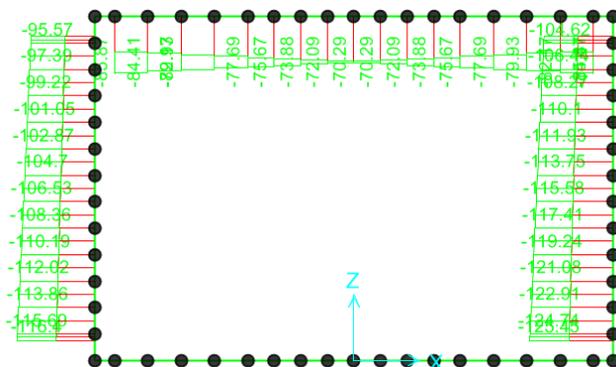


Ricoprimento minimo

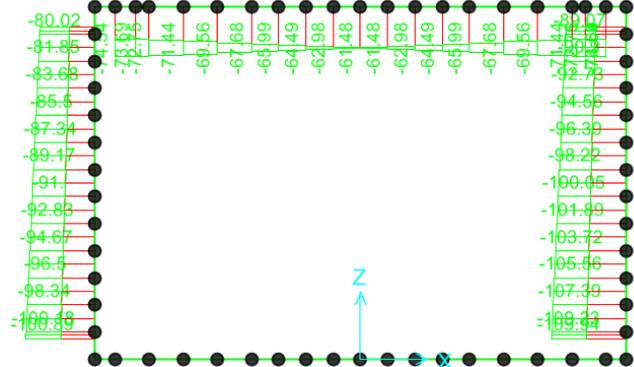


Sforzo normale

Ricoprimento massimo



Ricoprimento minimo



4.4.5.6 Verifica sezioni in c.a.

Le caratteristiche di sollecitazione esposte nelle precedenti figure, sono riassunte nella tabella che segue:

Ricoprimento massimo:

C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	106.5	76.7	63.2	S1 -max
V (kN/m)	135	96.7	100	
N (kN/m)	-380	-275.2	-116	
M (kNm/m)	166.1	120.8	35.6	S2 -max
V (kN/m)	0	0	17.3	
N (kN/m)	-160.1	-111.7	-70.3	
M (kNm/m)	129.9	92.6	68	S3 -max
V (kN/m)	328	237.1	98.6	
N (kN/m)	-160.1	-111.7	-108.2	
M (kNm/m)	90.2	65	70	S4 -max
V (kN/m)	263	188.2	75.4	
N (kN/m)	0	0	0	

Ricoprimento minimo:

C.d.S.	SLU	SLE-rara	SLV	Sezione
M (kNm/m)	88	67.5	53.2	S1 -max
V (kN/m)	128	88.8	90.3	
N (kN/m)	-333.4	-247	-100.9	
M (kNm/m)	162.2	118.5	29.5	S2 -max
V (kN/m)	0	0	15.4	
N (kN/m)	-146.8	-102.8	-61.5	

M (kNm/m)	127	91.6	49.3	S3 -max
V (kN/m)	317.6	230.4	82	
N (kN/m)	-146.8	-102.8	-71.4	
M (kNm/m)	79.3	56.7	63	S4 -max
V (kN/m)	233	180	66.7	
N (kN/m)	0	0	0	

Si considerano le seguenti sezioni di calcolo:

- Sezione S1: 1.00x0.40 mxm
- Sezione S2: 1.00x0.40 mxm
- Sezione S3: 1.00x0.40 mxm
- Sezione S4: 1.00x0.40 mxm

I piedritti e la soletta di fondazione sono armati sia superiormente che inferiormente con 1+1 $\phi$ 16/15; mentre la soletta superiore è armata con 1+1 $\phi$ 16/20. Come armatura di ripartizione si prevedono delle barre di diametro  $\phi$ 12 disposte ad un interasse di 20 cm. Si prevede un'armatura trasversale composta da 4 spilli al metro di diametro  $\phi$ 12 (passo specificato nelle verifiche) in prossimità delle zone di incastro.

Per le verifiche tensionali che seguono si assumono i seguenti limiti previsti da normativa:

- Lato cls:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.6 f_{ck} = 0.6 \cdot 32 = 19.2 \text{ Mpa}$
  - SLE-quasi perm.:  $\rightarrow 0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 32 = 14.4 \text{ Mpa}$
- Lato acciaio:
  - SLE-rara:  $\rightarrow 0.8 f_{yk} = 0.6 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

### **Verifiche agli SLU statici e sismici (SLV)**

*Verifica di resistenza a presso-flessione*

Sezione S1:

**Titolo:** AI.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

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

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

**Materiali**  
B450C    C32/40  
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>: 210.000 N/mm²    f<sub>cd</sub>: 18.13 ‰  
ε<sub>s</sub>/ε<sub>c</sub>: 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
ε<sub>syd</sub>: 1.863 ‰    σ<sub>c,adm</sub>: 12.25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm²    τ<sub>co</sub>: 0.7333  
τ<sub>c1</sub>: 2.114

**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 mm    Col. modello

M<sub>xRd</sub>: 176.3 kN m  
σ<sub>c</sub>: -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 20.42 ‰  
d: 340 mm  
x: 49.75    x/d: 0.1463  
δ: 0.7

Precompresso

N.	N [kN]	M [kNm]
1	380	106.9
2	116	63.2
3	333.4	88
4	53.2	100.9

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S2 e S3:

**Titolo:** AI.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	2011	60
			2	2011	340

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

N<sub>Ed</sub>: 160.1 kN  
M<sub>Ed</sub>: 166.1 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

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

**Materiali**  
B450C    C32/40  
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>: 210.000 N/mm²    f<sub>cd</sub>: 18.13 ‰  
ε<sub>s</sub>/ε<sub>c</sub>: 15    f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
ε<sub>syd</sub>: 1.863 ‰    σ<sub>c,adm</sub>: 12.25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm²    τ<sub>co</sub>: 0.7333  
τ<sub>c1</sub>: 2.114

**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 mm    Col. modello

M<sub>xRd</sub>: 250.8 kN m  
σ<sub>c</sub>: -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 17.14 ‰  
d: 340 mm  
x: 57.66    x/d: 0.1696  
δ: 0.7

Precompresso

N.	N [kN]	M [kNm]
1	160.1	166.1
2	160.1	129.9
3	146.8	162.2
4	146.8	127

Sezioni S4:

**TITOLO:** Al.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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. [mm]: 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 mm Col. modello

Materiali: B450C C32/40

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> 210.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.9 ‰  
ε<sub>syd</sub> 1.863 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12.25 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333 ‰  
τ<sub>c1</sub> 2.114 ‰

M<sub>xRd</sub> 176.3 kNm  
σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 20.42 ‰  
d 340 mm  
x 49.75 x/d 0.1463  
δ 0.7

Precompresso

Verifica SLU:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 79.3 / 176.3 = 0.45 < 1.0$ , verificato.

Verifica SLV:  $M_{Ed}/M_{Rd} = 63 / 176.3 = 0.36 < 1.0$ , verificato.

Verifica di resistenza a taglio

Sezione S1:

Si predispongono la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

∅ <sub>st</sub>	12	mm	diametro staffa
A <sub>sw</sub> = 1∅ A <sub>st</sub>	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
b <sub>st</sub>	4	bracci	(spilli)
A <sub>st</sub>	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
α <sub>st_deg</sub>	90	°	
α <sub>st_rad</sub>	1.57	rad	
s	250	mm	Passo staffe
cotg(θ)	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

V <sub>Ed</sub>	135	kN/m	Taglio sollecitante
V <sub>Rd</sub>	541.7	kN/m	Taglio resistente
V <sub>Ed</sub> / V <sub>Rd</sub>	0.2	< 1	<b>Ok</b>
V <sub>Rsd</sub>	541.7	kN/m	Taglio trazione resistente
V <sub>Rcd</sub>	956.7	kN/m	Taglio compressione resistente
V <sub>Rsd</sub> - V <sub>Rcd</sub>	-415.0	-	Rottura lato acciaio
Coeff.	0.9	-	
d	340.0	mm	
A <sub>sw</sub>	452.4	mm <sup>2</sup>	
s	250.0	mm	
cotg(α)	0.000	-	

sen( $\alpha$ )	1.000	-
Coeff.	0.90	-
d	340	mm
b <sub>w</sub>	1000	mm
$\alpha_c$	1	-
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa
v	0.5	-
cotg( $\alpha$ )	0.000	-

La verifica è soddisfatta.

### Sezione S3:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\emptyset_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\emptyset A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
b <sub>st</sub>	4	bracci	(spilli)
A <sub>st</sub>	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
s	250	mm	Passo staffe
cotg( $\theta$ )	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

V <sub>Ed</sub>	<b>328</b>	kN/m	Taglio sollecitante
V <sub>Rd</sub>	<b>541.7</b>	kN/m	Taglio resistente
V <sub>Ed</sub> / V <sub>Rd</sub>	0.6	< 1	<b>Ok</b>
V <sub>Rsd</sub>	541.7	kN/m	Taglio trazione resistente
V <sub>Rcd</sub>	956.7	kN/m	Taglio compressione resistente
V <sub>Rsd</sub> - V <sub>Rcd</sub>	-415.0	-	Rottura lato acciaio

Coeff.	0.9	-
d	340.0	mm
A <sub>sw</sub>	452.4	mm <sup>2</sup>
s	250.0	mm
cotg( $\alpha$ )	0.000	-
sen( $\alpha$ )	1.000	-

Coeff.	0.90	-
d	340	mm
b <sub>w</sub>	1000	mm
$\alpha_c$	1	-
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa

$v$  0.5 -  
 $\cotg(\alpha)$  0.000 -

La verifica è soddisfatta.

Sezioni S4:

Si predispose la verifica per sezione armata a taglio (§ 4.1.2.3.5.2, NTC 2018).

L'armatura trasversale ha le seguenti caratteristiche:

$\varnothing_{st}$	12	mm	diametro staffa
$A_{sw} = 1\varnothing A_{st}$	113.1	mm <sup>2</sup>	area staffa
$b_{st}$	4	bracci	(spilli)
$A_{st}$	452.4	mm <sup>2</sup> / m	
$\alpha_{st\_deg}$	90	°	
$\alpha_{st\_rad}$	1.57	rad	
$s$	250	mm	Passo staffe
$\cotg(\theta)$	2.5	-	Rottura lato calcestruzzo

La verifica a taglio è esplicitata di seguito:

$V_{Ed}$	<b>263</b>	kN/m	Taglio sollecitante
$V_{Rd}$	<b>541.7</b>	kN/m	Taglio resistente
$V_{Ed} / V_{Rd}$	0.5	<1	<b>Ok</b>
$V_{Rsd}$	541.7	kN/m	Taglio trazione resistente
$V_{Rcd}$	956.7	kN/m	Taglio compressione resistente
$V_{Rsd} - V_{Rcd}$	-415.0	-	Rottura lato acciaio
Coeff.	0.9	-	
$d$	340.0	mm	
$A_{sw}$	452.4	mm <sup>2</sup>	
$s$	250.0	mm	
$\cotg(\alpha)$	0.000	-	
$\text{sen}(\alpha)$	1.000	-	
Coeff.	0.90	-	
$d$	340	mm	
$b_w$	1000	mm	
$\alpha_c$	1	-	
$\sigma_{cp}$	0.0	MPa	
$v$	0.5	-	
$\cotg(\alpha)$	0.000	-	

La verifica è soddisfatta.

## Verifiche agli SLE

### Verifica tensioni flettenti

#### Sezione S1:

**Titolo:** AI.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S1

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 76.7 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

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

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

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm²  $f_{cd}$ : 18.13 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\sigma_c$ : -4.684 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 186.6 N/mm²  
 $\epsilon_s$ : 0.8886 ‰  
d: 340 mm  
x: 93 x/d: 0.2735  
 $\delta$ : 0.7819

Verifica  N° iterazioni: 4

Precompresso

#### Sezioni S2 e S3:

**Titolo:** AI.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	2011	60
			2	2011	340

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

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 120.8 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

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

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

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm²  $f_{cd}$ : 18.13 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\sigma_c$ : -6.08 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 200.4 N/mm²  
 $\epsilon_s$ : 0.9545 ‰  
d: 340 mm  
x: 106.3 x/d: 0.3127  
 $\delta$ : 0.8309

Verifica  N° iterazioni: 4

Precompresso

**Titolo:** AI.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S2 e S3

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	2011	60
			2	2011	340

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

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: 92.6 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

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

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

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm²  $f_{cd}$ : 18.13 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\sigma_c$ : -4.66 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 153.6 N/mm²  
 $\epsilon_s$ : 0.7317 ‰  
d: 340 mm  
x: 106.3 x/d: 0.3127  
 $\delta$ : 0.8309

Verifica  N° iterazioni: 4

Precompresso

#### Sezione S4:

**Titolo:** AI.05 - Soletta superiore sp. 0.40m - S4

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

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	400	1	1347	60
			2	1347	340

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

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

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

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

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰	$\sigma_c$ -3.969 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰	$\sigma_s$ 158.1 N/mm <sup>2</sup>
$E_s$ 210,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 18.13	$\epsilon_s$ 0.7531 ‰
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8	$d$ 340 mm
$\epsilon_{syd}$ 1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25	$x$ 93
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.7333	$x/d$ 0.2735
	$\tau_{c1}$ 2.114	$\delta$ 0.7819

**Verifica** **N° iterazioni:** 4

Precompresso

Le verifiche sono soddisfatte.

### Incidenza delle armature

Membratura	Armatura tot. (kg/m)	Incidenza (kg/m <sup>3</sup> /m)
Piedritto	40	100
Soletta superiore	43	110
Soletta inferiore	40	100

## 4.5 Validazione modelli di calcolo

Nei paragrafi che seguono si esplicita la validazione dei modelli di calcolo analizzati. Per fare ciò si esegue il controllo sul peso proprio dei cinque scatolari, su modelli vincolati con cerniere poste nei due vertici inferiori.

### 4.5.1 Scolare AI.01

Si riporta di seguito il confronto tra calcolo manuale e valore delle reazioni vincolari ottenute mediante modello FEM per il valore di  $G_1$ .

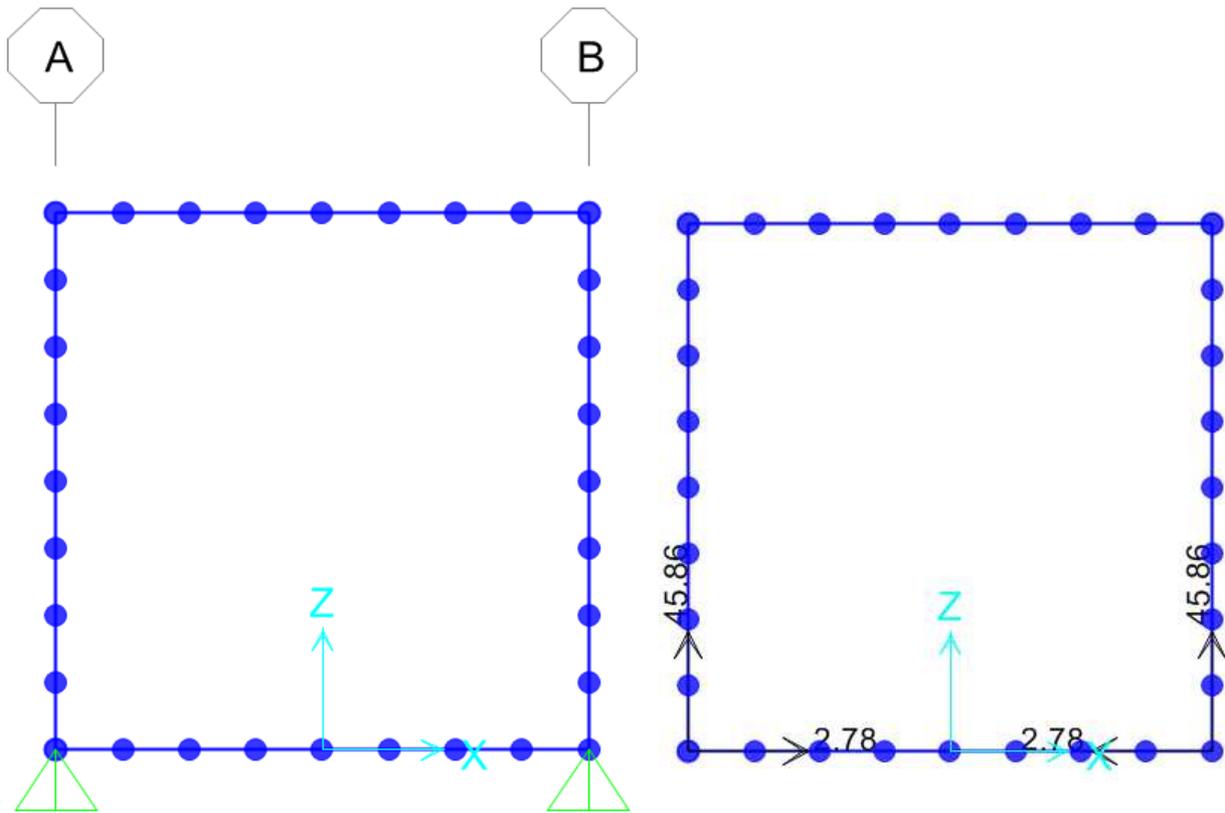


Figura 44 – Modello FEM vincolato (sinistra); reazioni vincolari (destra)

Calcolo manuale $G_1$ (kN/m)	Reazioni modello FEM $G_1$ (kN/m)	Differenza: $(G_{1calc} - G_{1FEM}) * 100 / G_{1calc}$
91.8	91.7	0.1 %

L'errore risulta trascurabile.

#### 4.5.2 Scatolare AI.02

Si riporta di seguito il confronto tra calcolo manuale e valore delle reazioni vincolari ottenute mediante modello FEM per il valore di  $G_1$ .

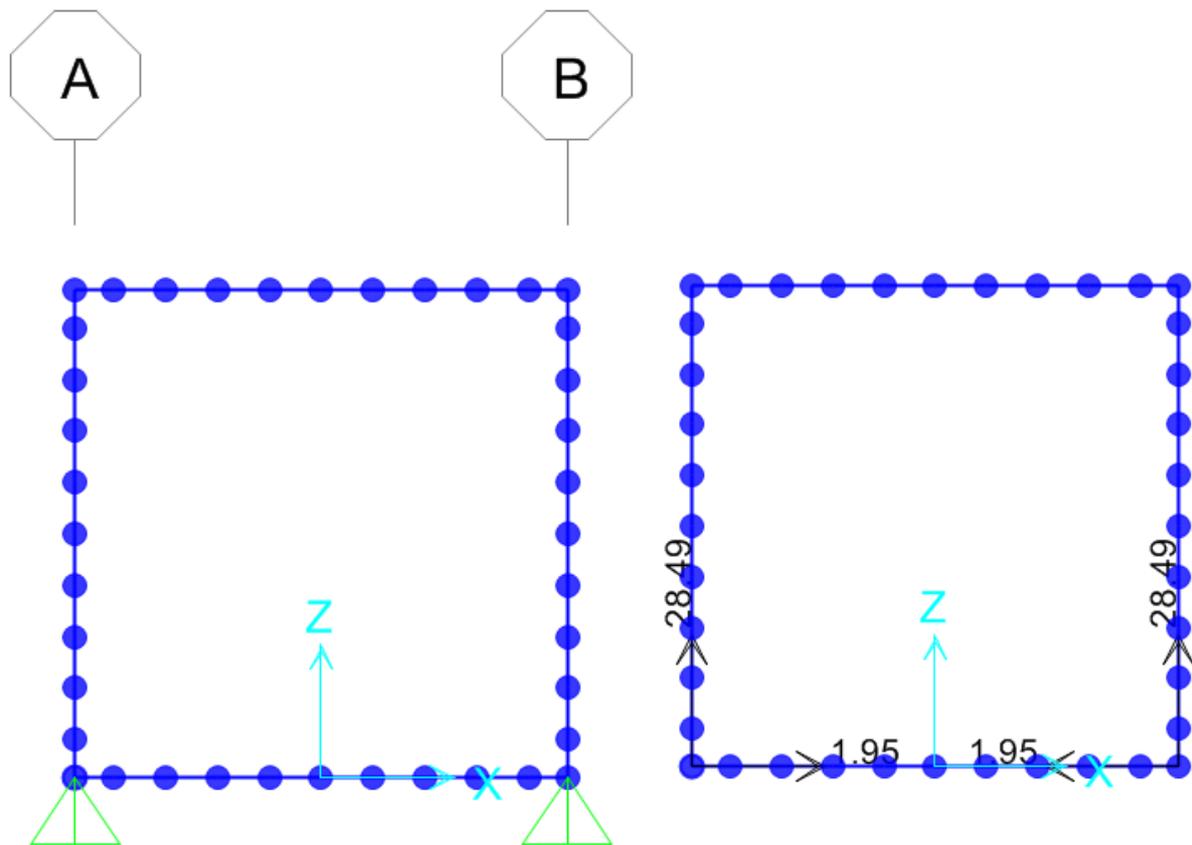


Figura 45 – Modello FEM vincolato (sinistra); reazioni vincolari (destra)

Calcolo manuale $G_1$ (kN/m)	Reazioni modello FEM $G_1$ (kN/m)	Differenza: $(G_{1calc} - G_{1FEM}) * 100 / G_{1calc}$
57.0	57.0	0.0 %

L'errore risulta nullo.

#### 4.5.3 Scatolare AI.03

Si riporta di seguito il confronto tra calcolo manuale e valore delle reazioni vincolari ottenute mediante modello FEM per il valore di  $G_1$ .

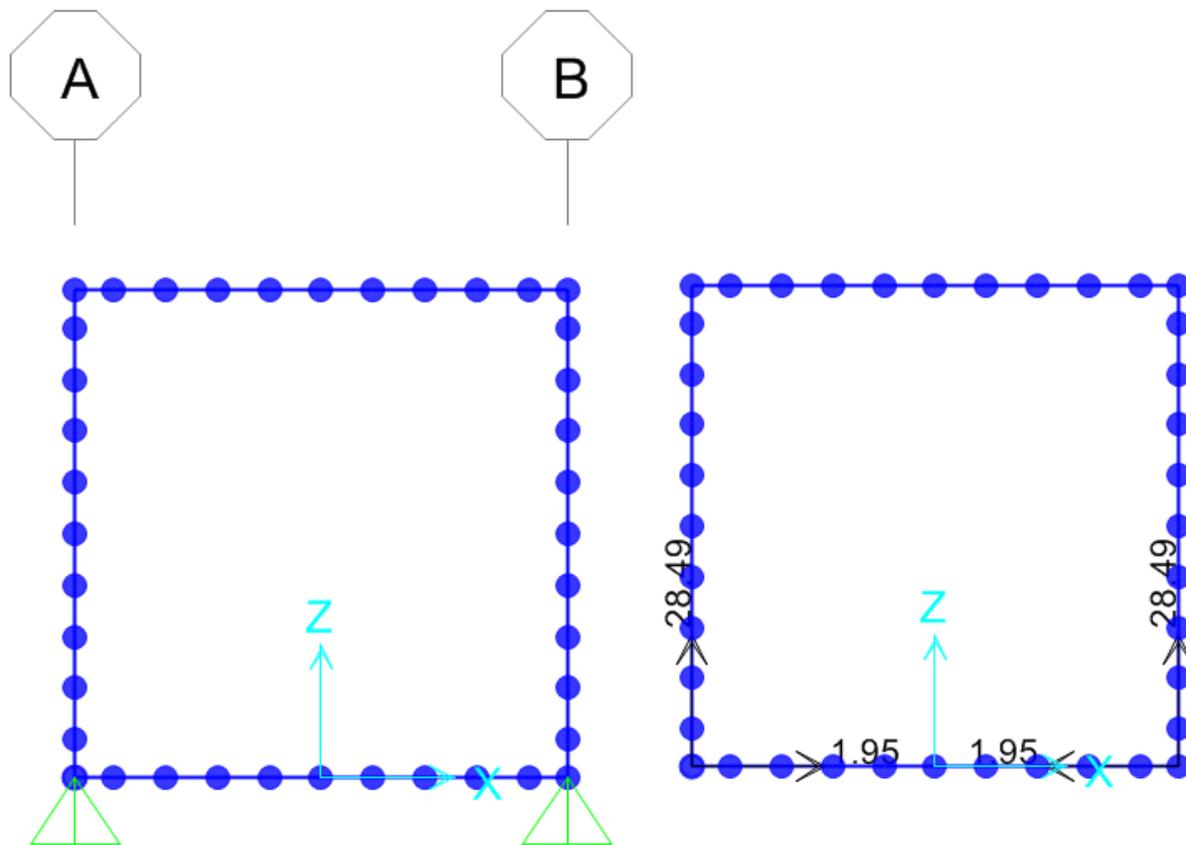


Figura 46 – Modello FEM vincolato (sinistra); reazioni vincolari (destra)

Calcolo manuale $G_1$ (kN/m)	Reazioni modello FEM $G_1$ (kN/m)	Differenza: $(G_{1calc} - G_{1FEM}) * 100 / G_{1calc}$
57.0	57.0	0.0 %

L'errore risulta nullo.

#### 4.5.4 Scatolare AI.04

Si riporta di seguito il confronto tra calcolo manuale e valore delle reazioni vincolari ottenute mediante modello FEM per il valore di  $G_1$ .

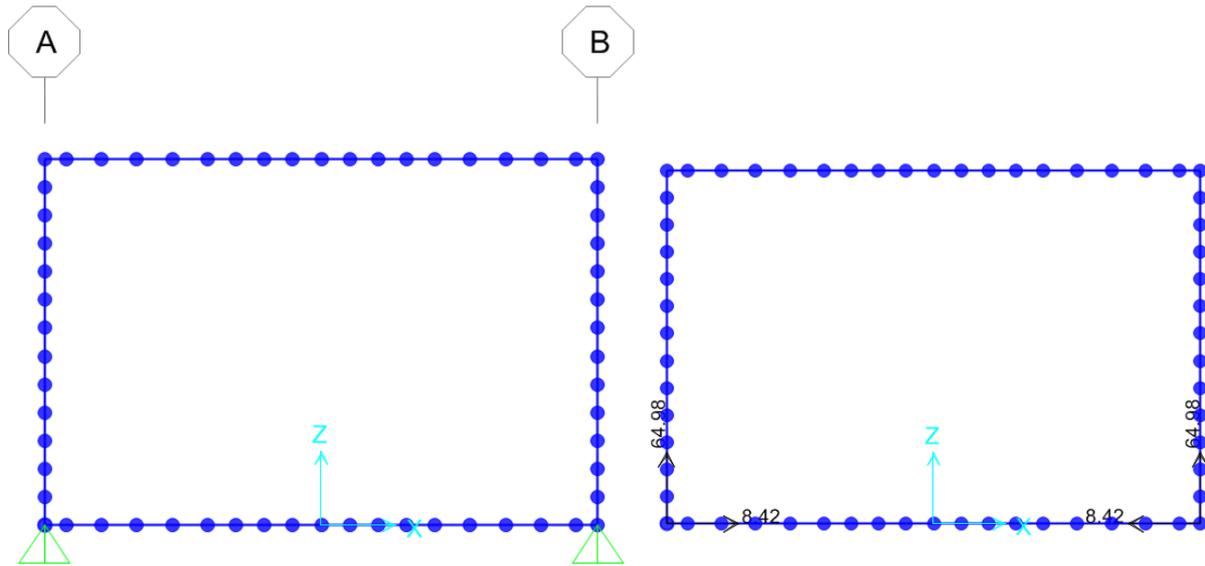


Figura 47 – Modello FEM vincolato (sinistra); reazioni vincolari (destra)

Calcolo manuale $G_1$ (kN/m)	Reazioni modello FEM $G_1$ (kN/m)	Differenza: $(G_{1calc} - G_{1FEM}) * 100 / G_{1calc}$
130	130	0.0 %

L'errore risulta nullo.

#### 4.5.5 Scotolare AI.05

Si riporta di seguito il confronto tra calcolo manuale e valore delle reazioni vincolari ottenute mediante modello FEM per il valore di  $G_1$ .

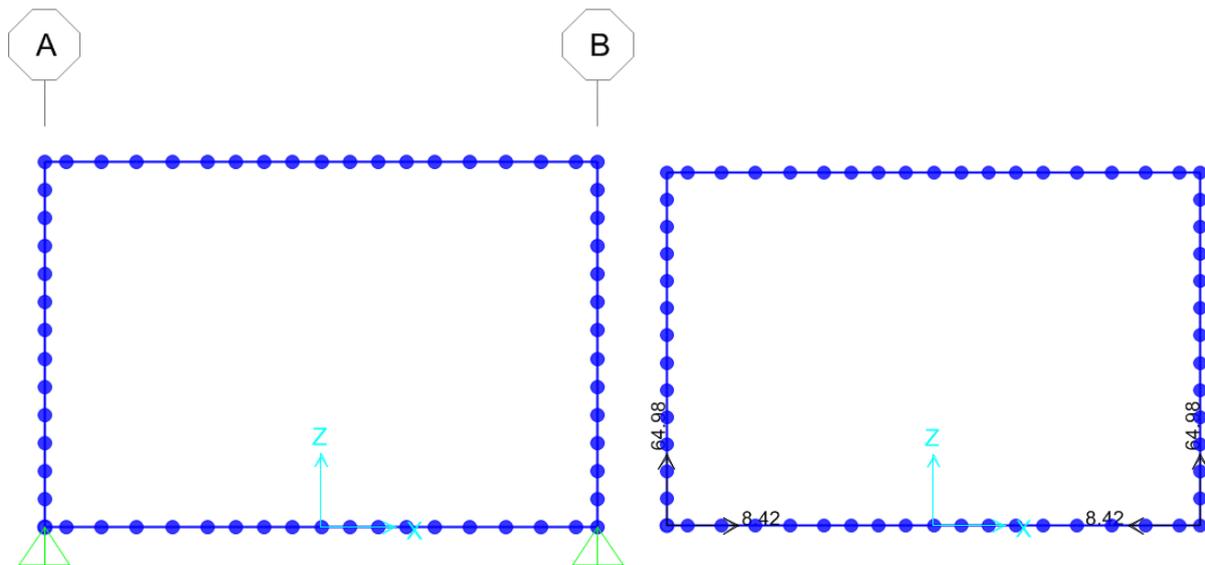


Figura 48 – Modello FEM vincolato (sinistra); reazioni vincolari (destra)

Calcolo manuale $G_1$ (kN/m)	Reazioni modello FEM $G_1$ (kN/m)	Differenza: $(G_{1calc} - G_{1FEM}) * 100 / G_{1calc}$
130	130	0.0 %

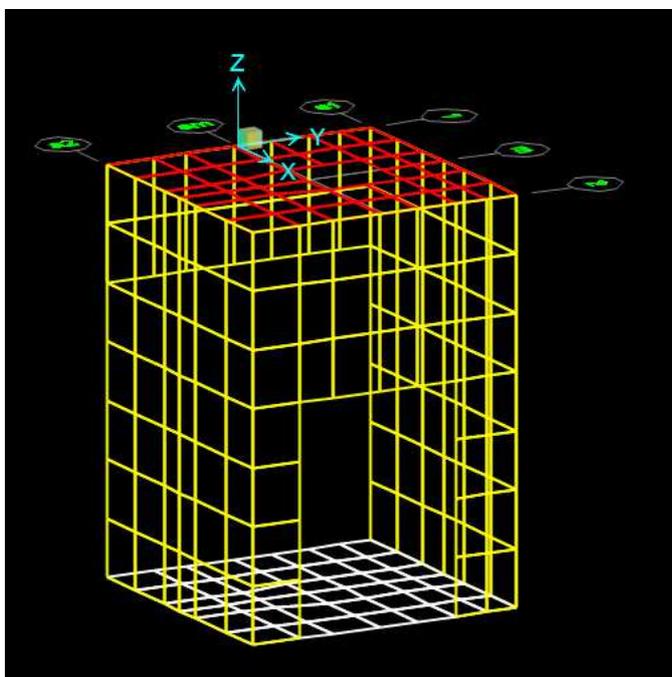
L'errore risulta nullo.

## 5 MODELLAZIONE, ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEL POZZETTO DI ISPEZIONE

Il pozzetto in c.a. oggetto di analisi viene modellato completamente con elementi bidimensionali, tenendo presente tutte le aperture presenti sia nel lato di giunto con il nuovo scatolare e sia su lato in adiacenza con il tombino esistente.

Inoltre nella soletta di copertura del pozzetto viene modellata la presenza del foro di passaggio per l'ispezione.

Si riporta un'immagine in cui si può osservare tale modello.



La parte inferiore poggia sul terreno. Questo vincolo viene modellato inserendo un letto di molle di costante elastica pari a 200000 kN /m3.

Gli assi del riferimento locale sono contrassegnati dalle lettere xyz ed il loro orientamento rispetto al riferimento globale XYZ è assegnato nel seguente modo:

- il primo asse (x) è diretto secondo l'asse dello scatolare, mentre gli altri due assi (y, z) giacciono in un piano ortogonale.

La geometria della struttura è stata definita mediante l'assegnazione delle coordinate geometriche dei nodi della struttura rispetto ad un sistema di riferimento fisso cartesiano ortogonale destrorso XYZ; tale riferimento ha gli assi X e Y orizzontali e l'asse Z verticale ascendente.

La struttura (contenute nel piano verticale XZ) è stata poi modellata mediante elementi finiti bidimensionali

(di tipo “shell”)

Per ogni elemento del modello strutturale si individua, inoltre, un sistema di riferimento locale rispetto al quale sono state assegnate le proprietà geometriche ed inerziali ed i carichi sull'elemento, e rispetto al quale è fornita la risposta (in termini di spostamenti dei nodi e di caratteristiche di sollecitazione) dal codice di calcolo.

## 5.1 ANALISI STRUTTURALE

### 5.1.1 Carichi di progetto

Si vuol far notare che nel modello strutturale tutti i carichi inseriti sono modellati come unitari attraverso i rispettivi “load cases”. L'entità del carico viene inserita per mezzo di un fattore moltiplicativo presente nelle combinazioni sopra riportate sfruttando la linearità del comportamento e dell'analisi.

Questa forma di applicazione rende il modello strutturale più semplice da trattare ed allo stesso tempo si ha maggiore controllo in fase di analisi.

- Azioni permanenti – Le azioni permanenti sono costituiti dai pesi propri delle strutture portanti e delle sovrastrutture. Essi sono valutati sulla base di volumi e/o aree di influenza in modo da avere carichi lineari o di area da applicare al modello strutturale

Secondo il p.to 5.1.3.1. del D.M. 17.01.2018, comprendono

- g<sub>1</sub> peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali;
- g<sub>2</sub> carichi permanenti portati (eventuali rinterri e elementi accessori);
- g<sub>3</sub> altre azioni permanenti (spinta terre)

Per quanto riguarda i carichi permanenti e strutturali portati questi equivalgono al peso proprio del cls (25 kN/mc). I pesi propri vengono calcolati direttamente dal software.

Per quanto riguarda i carichi non strutturali si considera la pavimentazione presente lato pista di servizio FS. Si considera un peso di volume di 21kN/mc ed uno spessore di 0,20 mt. Si ha dunque una pressione agente sulla soletta di copertura pari a 4.20 kN/mq.

Per quanto riguarda la spinta del terreno l'entità e la distribuzione di questa dipendono sostanzialmente dallo spostamento relativo che lo stesso può subire; si considera che le deformazioni del terreno siano impedito dalla struttura che non cede in nessun punto, per cui la pressione esercitata è una spinta a riposo espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0$$

K<sub>0</sub> rappresenta il coefficiente di spinta a riposo mentre φ è l'angolo di resistenza a taglio del terreno. Per il calcolo del manufatto si ipotizza un terreno di rinfanco con le seguenti caratteristiche:

Peso specifico terreno 20.00 kN/m<sup>3</sup>

angolo di attrito interno

$$\varphi = 33^\circ$$

$K_0=0.455$

coefficiente di spinta a riposo

$K_a=0.295$

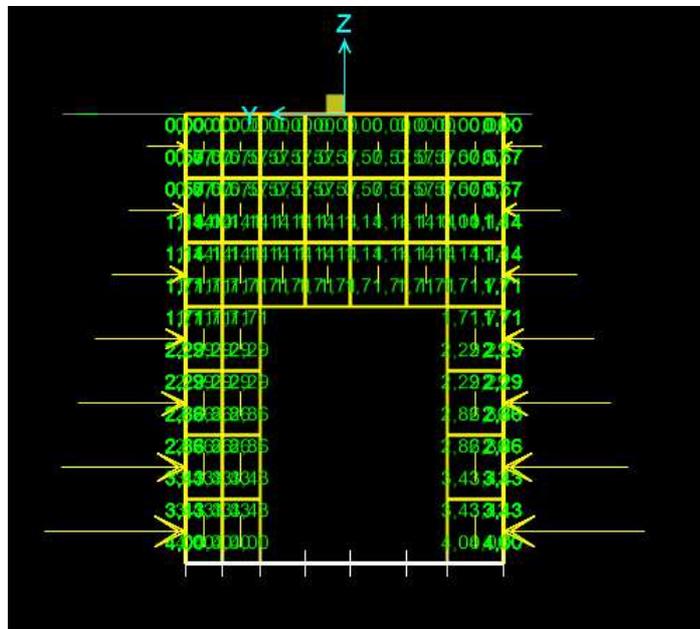
coefficiente di spinta attiva

Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto.

Per il caso in esame la distribuzione delle pressioni viene inserita direttamente sugli elementi bidimensionali tramite apposita funzione del software.

Si assume per il caso in esame che il piano a pressione nulla sia situato alla stessa quota della soletta di copertura. ad un'altezza paria 6 m dal piano medio della fondazione e la spinta viene calcolata in condizioni di riposo  $K_0=0.455$ .

Nelle immagini successive si riportano gli schemi di carico utilizzati:



- Azioni variabili da traffico – Sono definite al p.to 5.1.3.3 del D.M. 17.01.2018 e sono state posizionate in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli ai fini del dimensionamento delle membrature del manufatto e delle sottostrutture (fondazioni).

$q_1$  carichi mobili, comprensivi degli effetti dinamici, definiti dai seguenti schemi di carico (p.to 5.1.3.3):

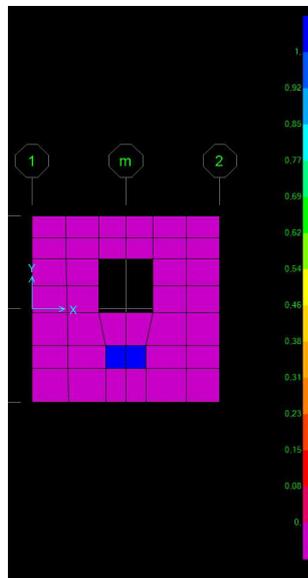
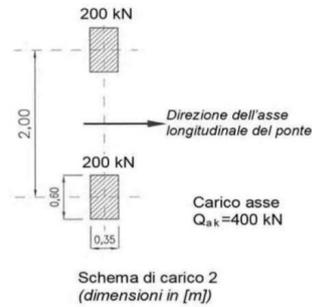
- schema di carico 2 (verifiche globali e locali):

$Q_{1.1.1}$  passaggio del carico mobile su un assi da 400 kN in tandem sulla corsia 1;

Nel modello viene modellata l'impronta di carico che può essere presente sulla soletta compatibilmente con le dimensioni in pianta.

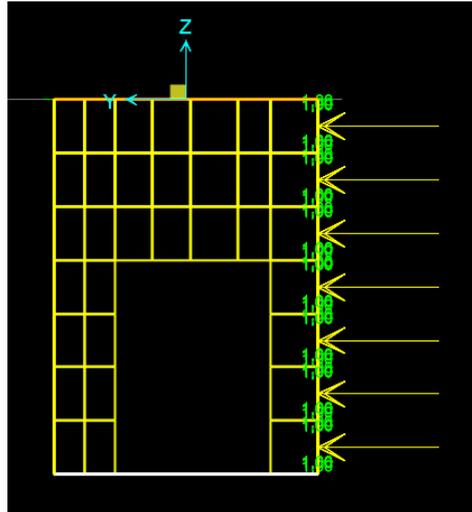
Conoscendo che l'impronta di carico per lo schema 2 è di 0,60 x 0,35 m, distribuendo la forza concentrata di 200 kN di tale area di ha una pressione approssimata di 955 kN/mq.

Si riporta nell'immagine successiva il carico applicato al modello.



Si vuol far osservare che in blu è evidenziata l'impronta di carico dello schema 2 previsto dalla normativa di riferimento.

Inoltre su tale struttura si inserisce un carico laterale accidentale pari a 20 kN/mq, il quale crea una spinta laterale legata a questo carico accidentale.



- Azioni sismiche – sono definite secondo quanto prescritto al par.3.2 del D.M. 17.01.2018.  
Tali azioni saranno combinate secondo le prescrizioni delle normative vigenti in funzione delle particolari strutture dell'opera in esame.

L'azione sismica viene determinata in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018, riferimento normativo cui si riferiscono tutti i richiami riportati nel seguito del presente paragrafo, salvo ove diversamente indicato.

Il valore di tutti i parametri per il calcolo dell'azione sismica è analogo a quelli utilizzati per l'analisi dello scatolare precedente.

#### Incremento di spinta sismica del terreno

Gli incrementi di spinta sismica del terreno si calcolano secondo quanto indicato al p.to 7.11.6.2.1 del D.M. 17/01/2018. Per manufatti come gli scatolari, le analisi in condizioni sismiche, possono essere eseguite mediante i metodi pseudostatici.

L'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente ottenuta dal prodotto delle forze di gravità per i valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali, valutati mediante le espressioni:

$$K_h = \beta_m \cdot a_{max} / g = 0.255 \text{ (SLV)}$$

dove:

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

L'accelerazione massima è valutata con la relazione

$$a_{max} = S_S S_T a_g / g$$

In cui  $S_S = 1.45$ ;  $S_T = 1$

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate in modo tale che non possa svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, il coefficiente  $\beta_m$ , assume valore unitario ed il calcolo dell'incremento dinamico di spinta del terreno può essere effettuato con il metodo di Wood; tale metodo fornisce una sovraspinta sismica uniforme del terreno sulle pareti interrato calcolata come:

$$\Delta P_d = k_h \gamma H^2$$

con punto di applicazione a metà dell'altezza H del muro, il che equivale ad applicare una pressione uniforme

$$\Delta p_d = k_h \gamma H$$

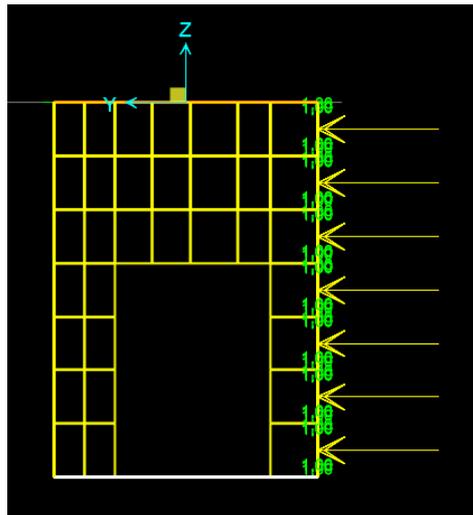
con:

$\gamma$  = peso specifico del terreno di rilevato che interessa il setto verticale, nel caso in esame è pari a 20 kN/mc;

H = altezza dello scatolare misurata dall'estradosso della soletta superiore all'intradosso della platea di base, che per il caso in esame si assume pari a 4 m.

Per cui il prodotto  $\gamma \cdot H = 80$  kN/mq.

La normativa prescrive di applicare separatamente la spinta statica e dinamica, quest'ultima come sovraspinta sismica.



### Forse inerziali

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai pesi propri, ai sovraccarichi permanenti, e considerando il valore quasi permanente delle masse corrispondenti ai carichi da traffico: l'opera in oggetto non rientra infatti fra i ponti in zona urbana di intenso traffico, per i quali si deve considerare un valore non nullo di dette masse.

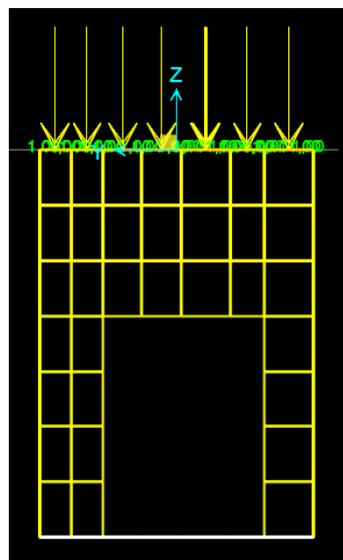
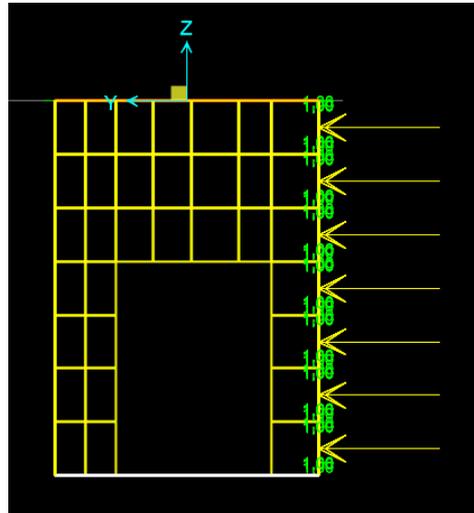
In condizioni sismiche l'opera è soggetta alle forze di inerzia, degli elementi strutturali e delle porzioni di terreno solidali con la struttura, calcolate come:

$$F_{hi} = k_h W$$

$$F_{vi} = k_v W$$

essendo  $W$  il peso dell'elemento o della porzione di terreno, mentre  $k_v = 0.5k_h$  e  $k_h$  sono i coefficienti di intensità sismica verticale ed orizzontali descritti nel precedente paragrafo. Tali forze sono applicate nel baricentro delle masse dell'elemento considerato. La presenza di terreno interessa solo i volumi giacenti sopra gli aggetti trasversali della platea.

Nelle immagini seguenti si riportano i valori di spinta inerziale orizzontale e verticale rispettivamente.



### 5.1.2 Combinazioni di carico

Vengono utilizzate le seguenti combinazioni di carico ai fini delle verifiche strutturali

Combo Name	Combo Type	Case Type	Case Name	Scale Factor
_G1	Linear Add	Linear Static	0_DEAD	1

_G1_terreno	Linear Add	Linear Static	0_Spinta Terreno	20
_G2	Linear Add	Linear Static	0_Pavimentazione	4,2
_Q_traffico_AXI	Linear Add	Linear Static	0_Sovracc._traffico	955
_Q_traffico laterale	Linear Add	Linear Static	0_Spinta Sovracc._traffico laterale	20
_Q_traffico_slu/sle-rara	Linear Add	Response Combo	_Q_traffico_AXI	1
_Q_traffico_slu/sle-rara		Response Combo	_Q_traffico laterale	1
_Q_traffico_sle	Linear Add	Response Combo	_Q_traffico_AXI	0,75
_Q_traffico_sle		Response Combo	_Q_traffico laterale	0,4
SLU	Linear Add	Response Combo	_G1	1,3
SLU		Response Combo	_G1_terreno	1,3
SLU		Response Combo	_Q_traffico_slu/sle-rara	1,35
SLU		Response Combo	_G2	1,3
SLE-rara	Linear Add	Response Combo	_G1	1
SLE-rara		Response Combo	_G1_terreno	1
SLE-rara		Response Combo	_Q_traffico_slu/sle-rara	1
SLE-rara		Response Combo	_G2	1
SLE-qp	Linear Add	Response Combo	_G1	1
SLE-qp		Response Combo	_G1_terreno	1
SLE-qp		Response Combo	_G2	1
SLE-freq	Linear Add	Response Combo	_G1	1
SLE-freq		Response Combo	_G1_terreno	1
SLE-freq		Response Combo	_Q_traffico_sle	1
SLE-freq		Response Combo	_G2	1
_Ey_terreno	Linear Add	Linear Static	1_Spinta Terreno_sismica	80
_Ey_DEAD	Linear Add	Linear Static	1_DEAD_orizz._sismica	1
_Ey_DEAD		Linear Static	1_DEAD_vert._sismica	1

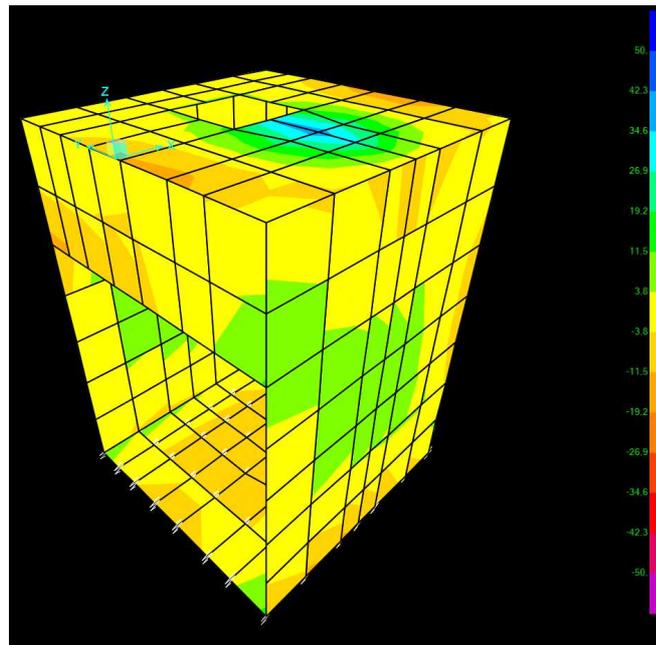
_E	Linear Add	Response Combo	_Ey_DEAD	1
_E		Response Combo	_Ey_terreno	1
SLV	Linear Add	Response Combo	_G1	1
SLV		Response Combo	_E	1
SLV		Response Combo	_G2	1

### 5.1.3 Sollecitazioni SLU e verifiche

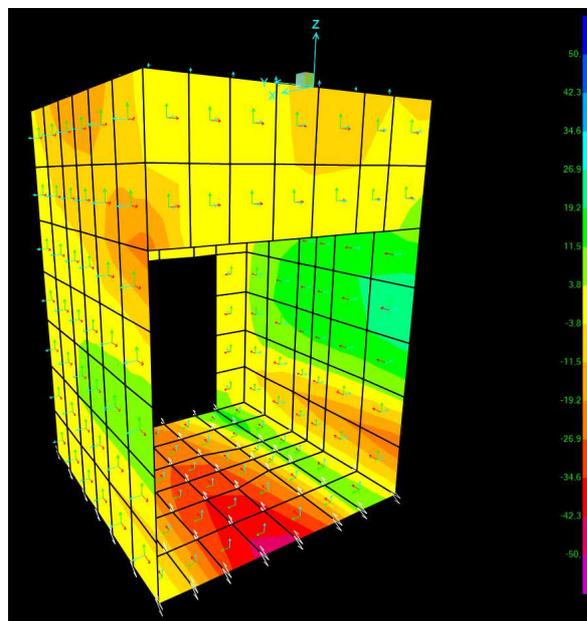
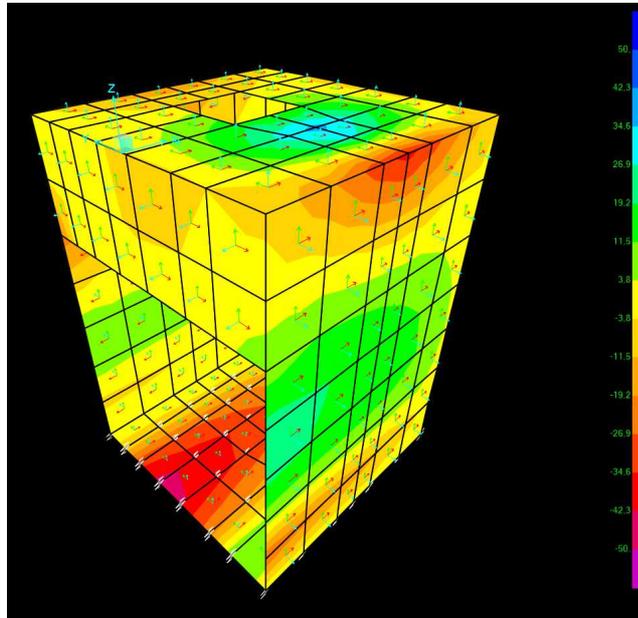
Si fa notare che gli assi locali degli elementi sono così disposti: l'asse 1 coincide con l'asse x dell'opera, mentre l'asse 2 è ortogonale all'asse 1. L'asse 3 è l'asse uscente dal piano formato da 1 e 2.

#### 5.1.3.1 Sollecitazioni flettenti

Azioni flettenti M11 (kNm/m) – Mmax = 40.00 kNm/m – Mmin = -30.00 kNm/m



Azioni flettenti M22 (kNm/m) – Mmax = 40.00 kNm/m – Mmin = - 50.00 kNm/m



### 5.1.3.2 Verifiche flettenti

Per la sezione resistente lungo l'asse 1 – dir. 1 - si adotta un'armatura di 1@16/200 sia inferiormente che superiormente

Per la sezione resistente lungo l'asse 2 – dir. 2 - si adotta un'armatura di 1@ 16/200. sia inferiormente che superiormente

**Titolo:** Sezione\_Dir-1

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6
2	10,05	24

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

**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

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

**Tipo flessione**  
 Retta    Deviata

**Materiali**  
 B450C   C25/30  
 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> 14,17  
 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> 9,75  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²   τ<sub>co</sub> 0,6  
                                          τ<sub>c1</sub> 1,829

M<sub>xRd</sub> 92,97 kNm  
 σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 13,78 ‰  
 d 24 cm  
 x 4,861   x/d 0,2026  
                                  δ 0,7

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

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sez. verifica\_dir2\_v.1

File   Materiali   Opzioni   Visualizza   Progetto Sez. Rett.   Sismica   Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** Sezione\_Dir-2

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	4
2	10,05	26

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

**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

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

**Tipo flessione**  
 Retta    Deviata

**Materiali**  
 B450C   C25/30  
 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> 14,17  
 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> 9,75  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²   τ<sub>co</sub> 0,6  
                                          τ<sub>c1</sub> 1,829

M<sub>xRd</sub> 97,04 kNm  
 σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 20,57 ‰  
 d 26 cm  
 x 3,78   x/d 0,1454  
                                  δ 0,7

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

**Titolo:** Sezione\_Dir-1

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6
2	10,05	24

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

N<sub>Ed</sub> 0      0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0      10 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**      **C25/30**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²     $f_{cd}$  14,17  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰     $\sigma_{c,adm}$  9,75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0,6  
 $\tau_{c1}$  1,829

M<sub>xRd</sub> -92,97 kN m

$\sigma_c$  -14,17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  13,78 ‰  
d 24 cm  
x 4,861    x/d 0,2026  
 $\delta$  0,7

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

**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  
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sez. verifica\_dir2\_v.1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** Sezione\_Dir-2

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	4
2	10,05	26

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

N<sub>Ed</sub> 0      0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0      40 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**      **C25/30**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²     $f_{cd}$  14,17  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰     $\sigma_{c,adm}$  9,75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0,6  
 $\tau_{c1}$  1,829

M<sub>xRd</sub> -97,04 kN m

$\sigma_c$  -14,17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  20,57 ‰  
d 26 cm  
x 3,78    x/d 0,1454  
 $\delta$  0,7

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

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

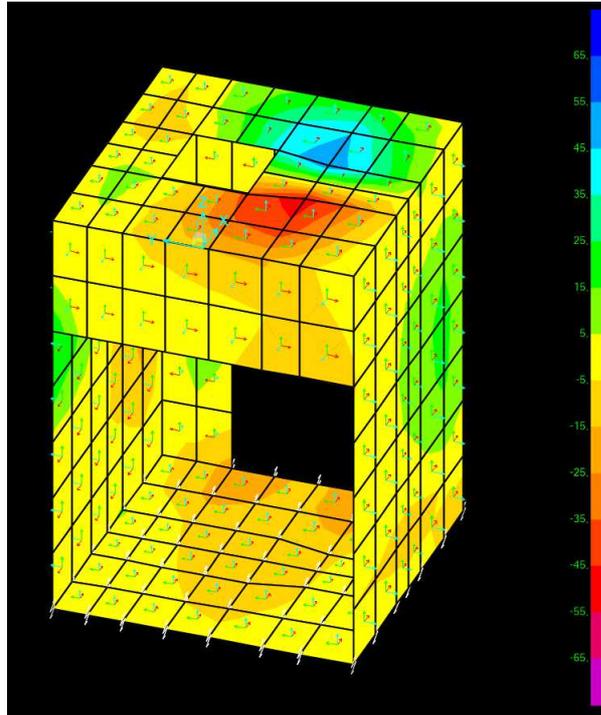
**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

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

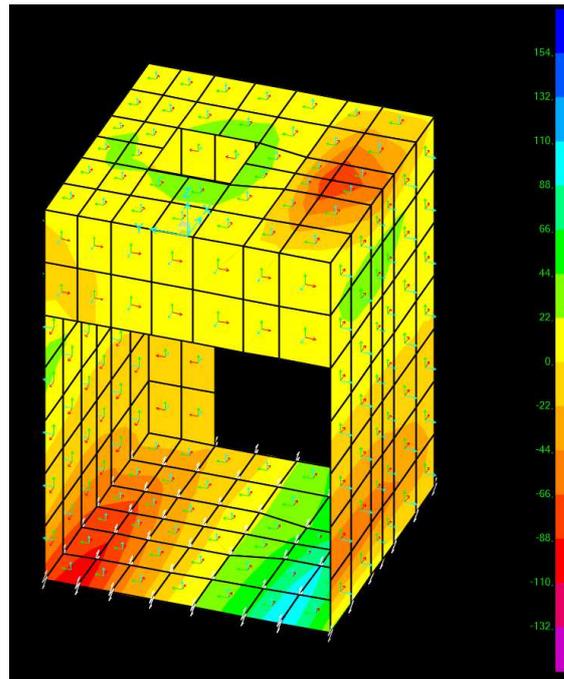
Si può osservare che il momento resistente è maggiore di quello sollecitante in entrambe le direzioni e versi di rotazione. La verifica si assume come soddisfatta.

### 5.1.3.3 Sollecitazioni taglianti

Azioni taglianti V13 (kNm/m) –  $V_{max} = 50.00$  kNm/m –  $V_{min} = - 50.00$  kNm/m



Azioni taglianti V23 (kNm/m) –  $V_{max} = 115.0$  kNm/m –  $V_{min} = - 115.00$  kNm/m



#### 5.1.3.4 Verifiche a taglio – dir 1

Per la verifica a taglio nella direzione 1 si fa affidamento solo all'armatura a flessione presente. Non si prevede armatura particolare per taglio.

L'armatura long. Disposta in dir.1 è: 1@16/200 sia all'intradosso che all'estradosso.

#### - Analisi taglio resistente -

Tensione caratteristica CLS	C25/30	fck [N/mm <sup>2</sup> ]	25,00
Tensione di progetto CLS	C25/30	fcd [N/mm <sup>2</sup> ]	14,17

Larghezza minima sezione	bw [mm]	1000	
Altezza utile sez.	dm,t [mm]	232,00	
Area utile sezione	Ac,t [mm <sup>2</sup> ]	232000	
Area armatura long. Tesa	As,t,tot [mm <sup>2</sup> ]	1005,31	
Rapp. geom. di armatura tesa	$\rho_{l,t}$ [%]	0,433% <= 2%	OK
	k	1,928	
	vmin	0,469	
Tensione med. di compr.	$\sigma_{cp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00 $\leq 0.2 f_{cd} =$	2,833
coeff. di sicurezza del materiale	$\gamma_c$	1,50	OK
Taglio resistente - prima parte	Vrd,1 [kN]	118,80	
Taglio resistente - seconda parte	Vrd,2 [kN]	108,73	
<b>Taglio resistente</b>	<b>Vrd [kN]</b>	<b>118,80</b>	

### 5.1.3.5 Verifiche a taglio – dir 2

Per la verifica a taglio nella direzione 1 si fa affidamento solo all'armatura a flessione presente. Non si prevede armatura particolare per taglio.

L'armatura long. Disposta in dir.1 è: 1@16/200 sia all'intradosso che all'estradosso.

#### **- Analisi taglio resistente -**

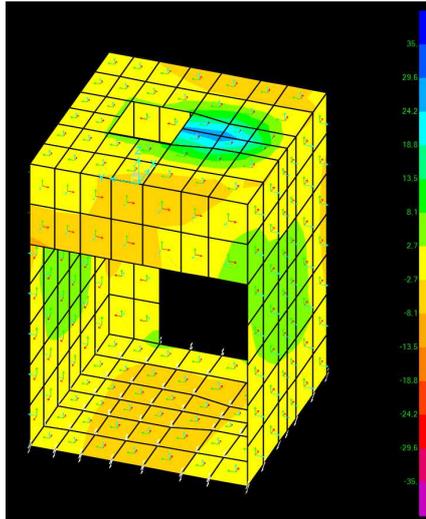
Tensione caratteristica CLS	C25/30	fck [N/mmq]	25,00	
Tensione di progetto CLS	C25/30	fcd [N/mmq]	14,17	
Larghezza minima sezione	bw [mm]		1000	
Altezza utile sez.	dm,t [mm]		252,00	
Area utile sezione	Ac,t [mm2]		252000	
Area armatura long. Tesa	As,t,tot [mm2]		1005,31	
Rapp. geom. di armatura tesa	ρ <sub>l,t</sub> [%]	0,399% <= 2%		OK
	k	1,891		
	v <sub>min</sub>	0,455		
Tensione med. di compr.	σ <sub>cp</sub> [N/mmq]	0,00 ≤ 0.2 fcd =	2,833	
coeff. di sicurezza del materiale	γ <sub>c</sub>	1,50		OK
Taglio resistente - prima parte	V <sub>rd,1</sub> [kN]		123,08	
Taglio resistente - seconda parte	V <sub>rd,2</sub> [kN]		114,67	
<b>Taglio resistente</b>	<b>V<sub>rd</sub> [kN]</b>		<b>123,08</b>	

### 5.1.4 Sollecitazioni SLE-rara e verifiche

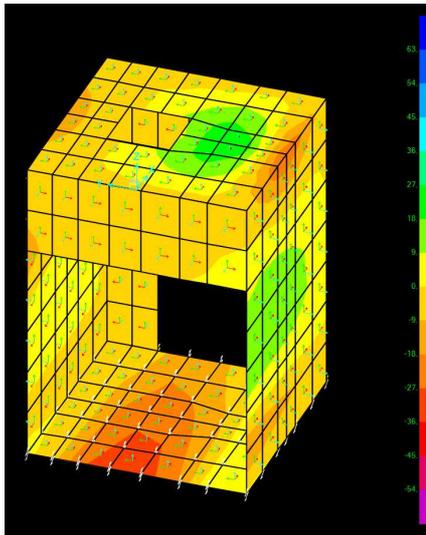
Si fa notare che gli assi locali degli elementi sono così disposti: l'asse 1 coincide con l'asse x dell'opera, mentre l'asse 2 è ortogonale all'asse 1. L'asse 3 è l'asse uscente dal piano formato da 1 e 2.

#### 5.1.4.1 Sollecitazioni flettenti

Azioni flettenti M11 (kNm/m) – M<sub>max</sub> = 30.00 kNm/m – M<sub>min</sub> = -25.00 kNm/m



Azioni flettenti M22 (kNm/m) – Mmax = 40.00 kNm/m – Mmin = -40.00 kNm/m



#### 5.1.4.2 Verifiche tensionali flettenti

**Titolo:** Sezione\_Dir-1

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6
2	10,05	24

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

**Diagramma:**

**Carichi (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   C25/30  
 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>: 14,17 N/mm²  
 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>: 9,75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm²   τ<sub>co</sub>: 0,6  
                                          τ<sub>c1</sub>: 1,829

**Stato Limite Ultimo (S.L.U.):**  
 σ<sub>c</sub>: -3,787 N/mm²  
 σ<sub>s</sub>: 139 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: 0,6951 ‰  
 d: 24 cm  
 x: 6,962   x/d: 0,2901  
 δ: 0,8026

**Verifica:** N° iterazioni: 4

Precompresso

**Titolo:** Sezione\_Dir-2

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	4
2	10,05	26

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

**Diagramma:**

**Carichi (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   C25/30  
 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>: 14,17 N/mm²  
 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>: 9,75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm²   τ<sub>co</sub>: 0,6  
                                          τ<sub>c1</sub>: 1,829

**Stato Limite Ultimo (S.L.U.):**  
 σ<sub>c</sub>: -4,143 N/mm²  
 σ<sub>s</sub>: 170 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: 0,8498 ‰  
 d: 26 cm  
 x: 6,962   x/d: 0,2678  
 δ: 0,7747

**Verifica:** N° iterazioni: 4

Precompresso

**Titolo :** Sezione\_Dir-1

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6
2	10,05	24

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

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

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

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

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

**Materiali**  
 B450C C25/30  
 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> 14,17 N/mm²  
 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> 9,75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6  
 τ<sub>c1</sub> 1,829

σ<sub>c</sub> -3,156 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 115,9 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,5793 ‰  
 d 24 cm  
 x 6,962 x/d 0,2901  
 δ 0,8026

Verifica N° iterazioni:   
 Precompresso

Verifica C.A.: S.L.U. - File: Sez. verifica\_dir2\_v.1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** Sezione\_Dir-2

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	4
2	10,05	26

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

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

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

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

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

**Materiali**  
 B450C C25/30  
 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> 14,17 N/mm²  
 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> 9,75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6  
 τ<sub>c1</sub> 1,829

σ<sub>c</sub> -4,143 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 170 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,8498 ‰  
 d 26 cm  
 x 6,962 x/d 0,2678  
 δ 0,7747

Verifica N° iterazioni:   
 Precompresso

I valori limite di tensione previsti da norma sono:

Lato cls

- SLE-rara  $\rightarrow 0.6 f_{ck} = 0.6 \cdot 25 = 15 \text{ Mpa}$
- SLE-quasi perm.  $\rightarrow 0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 25 = 11.25 \text{ Mpa}$

Lato acciaio

- SLE-rara  $\rightarrow 0.8 f_{yk} = 0.6 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

Si può osservare dai report di verifica che le tensioni agenti sono minori dei limiti previsti da norma.

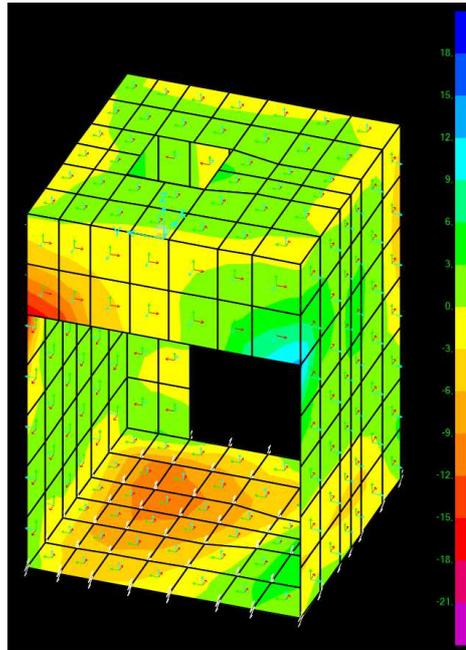
La verifica si assume come soddisfatta.

### 5.1.5 Sollecitazioni SLV

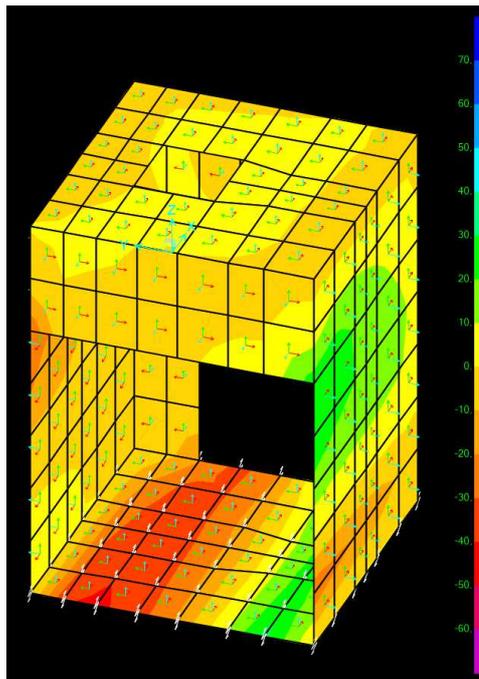
Si fa notare che gli assi locali degli elementi sono così disposti: l'asse 1 coincide con l'asse x dell'opera, mentre l'asse 2 è ortogonale all'asse 1. L'asse 3 è l'asse uscente dal piano formato da 1 e 2.

#### 5.1.5.1 Sollecitazioni flettenti

Azioni flettenti M11 (kNm/m) – Mmax = 20.00 kNm/m – Mmin = -25.00 kNm/m



Azioni flettenti M22 (kNm/m) – Mmax = 50.00 kNm/m – Mmin = -50.00 kNm/m



### 5.1.5.2 Verifiche flettenti

Per la sezione resistente lungo l'asse 1 – dir. 1 - si adotta un'armatura di 1@16/200 sia inferiormente che superiormente

Per la sezione resistente lungo l'asse 2 – dir. 2 - si adotta un'armatura di 1@ 16/200. sia inferiormente che superiormente

**Titolo:** Sezione\_Dir-1

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	10,05	6
			2	10,05	24

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

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta    Deviata

**Calcoli:**  
 $M_{xRd} = 92,97$  kNm  
 $\sigma_c = -14,17$  N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c = 3,5$  ‰  
 $\epsilon_s = 13,78$  ‰  
 $d = 24$  cm  
 $x = 4,861$     $x/d = 0,2026$   
 $\delta = 0,7$

**Materiali:**  
 B450C      C25/30  
 $\epsilon_{su} = 67,5$  ‰    $\epsilon_{c2} = 2$  ‰  
 $f_{yd} = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>    $\epsilon_{cu} = 3,5$  ‰  
 $E_s = 200.000$  N/mm<sup>2</sup>    $f_{cd} = 14,17$  ‰  
 $E_s/E_c = 15$     $f_{cc}/f_{cd} = 0,8$  [?]  
 $\epsilon_{syd} = 1,957$  ‰    $\sigma_{c,adm} = 9,75$   
 $\sigma_{s,adm} = 255$  N/mm<sup>2</sup>    $\tau_{co} = 0,6$   
 $\tau_{c1} = 1,829$

**Parametri:**  
 $N_{Ed} = 0$  kN  
 $M_{xEd} = 0$  kNm  
 $M_{yEd} = 0$  kNm  
 Metodo n  
 P.to applicazione N:  Centro    Baricentro cls  
 Coord.[cm]    $xN = 0$     $yN = 0$   
 Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato  
 N° rett. 100  
 Calcola MRd      Dominio M-N  
 $L_0 = 0$  cm      Col. modello  
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sez. verifica\_dir2\_v.1

File   Materiali   Opzioni   Visualizza   Progetto Sez. Rett.   Sismica   Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** Sezione\_Dir-2

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	10,05	4
			2	10,05	26

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

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta    Deviata

**Calcoli:**  
 $M_{xRd} = 97,04$  kNm  
 $\sigma_c = -14,17$  N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c = 3,5$  ‰  
 $\epsilon_s = 20,57$  ‰  
 $d = 26$  cm  
 $x = 3,78$     $x/d = 0,1454$   
 $\delta = 0,7$

**Materiali:**  
 B450C      C25/30  
 $\epsilon_{su} = 67,5$  ‰    $\epsilon_{c2} = 2$  ‰  
 $f_{yd} = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>    $\epsilon_{cu} = 3,5$  ‰  
 $E_s = 200.000$  N/mm<sup>2</sup>    $f_{cd} = 14,17$  ‰  
 $E_s/E_c = 15$     $f_{cc}/f_{cd} = 0,8$  [?]  
 $\epsilon_{syd} = 1,957$  ‰    $\sigma_{c,adm} = 9,75$   
 $\sigma_{s,adm} = 255$  N/mm<sup>2</sup>    $\tau_{co} = 0,6$   
 $\tau_{c1} = 1,829$

**Parametri:**  
 $N_{Ed} = 0$  kN  
 $M_{xEd} = 0$  kNm  
 $M_{yEd} = 0$  kNm  
 Metodo n  
 P.to applicazione N:  Centro    Baricentro cls  
 Coord.[cm]    $xN = 0$     $yN = 0$   
 Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato  
 N° rett. 100  
 Calcola MRd      Dominio M-N  
 $L_0 = 0$  cm      Col. modello  
 Precompresso

**Titolo :** Sezione\_Dir-1

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	10,05	6
			2	10,05	24

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

N<sub>Ed</sub> 0      0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0      10 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      C25/30  
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> 14,17  
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> 9,75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0,6  
τ<sub>c1</sub> 1,829

M<sub>xRd</sub> -92,97 kN m  
σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 13,78 ‰  
d 24 cm  
x 4,861    x/d 0,2026  
δ 0,7

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

**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  
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sez. verifica\_dir2\_v.1

File    Materiali    Opzioni    Visualizza    Progetto Sez. Rett.    Sismica    Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** Sezione\_Dir-2

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	10,05	4
			2	10,05	26

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

N<sub>Ed</sub> 0      0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0      40 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      C25/30  
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> 14,17  
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> 9,75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²    τ<sub>co</sub> 0,6  
τ<sub>c1</sub> 1,829

M<sub>xRd</sub> -97,04 kN m  
σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 20,57 ‰  
d 26 cm  
x 3,78    x/d 0,1454  
δ 0,7

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

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

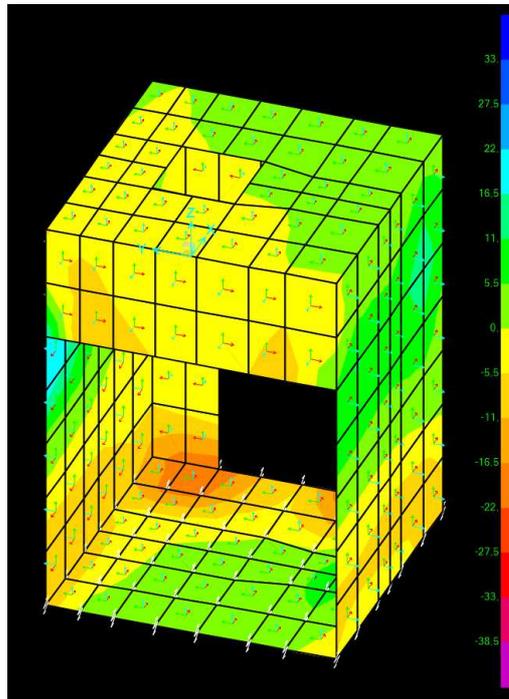
**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

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

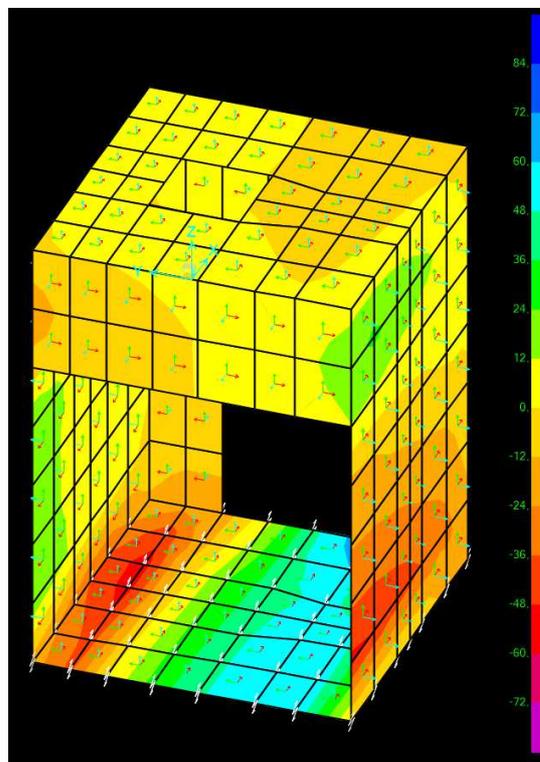
Si può osservare che il momento resistente è maggiore di quello sollecitante in entrambe le direzioni e versi di rotazione. La verifica si assume come soddisfatta.

5.1.5.3 Sollecitazioni taglianti

Azioni taglianti V13 (kN/m) – Vmax = 40.00 kNm/m – Vmin = - 40.00 kNm/m



Azioni taglianti V23 (kN/m) – Vmax = 85.0 kNm/m – Vmin = - 80.00 kNm/m



#### 5.1.5.4 Verifiche a taglio – dir 1

Per la verifica a taglio nella direzione 1 si fa affidamento solo all'armatura a flessione presente. Non si prevede armatura particolare per taglio.

L'armatura long. Disposta in dir.1 è: 1@16/200 sia all'intradosso che all'estradosso.

##### - Analisi taglio resistente -

Tensione caratteristica CLS	C25/30	fck [N/mm <sup>2</sup> ]	25,00	
Tensione di progetto CLS	C25/30	fcd [N/mm <sup>2</sup> ]	14,17	
Larghezza minima sezione	bw [mm]		1000	
Altezza utile sez.	dm,t [mm]		232,00	
Area utile sezione	Ac,t [mm <sup>2</sup> ]		232000	
Area armatura long. Tesa	As,t,tot [mm <sup>2</sup> ]		1005,31	
Rapp. geom. di armatura tesa	ρ <sub>l,t</sub> [%]	0,433% ≤ 2%		OK
	k		1,928	
	v <sub>min</sub>		0,469	
Tensione med. di compr.	σ <sub>cp</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00 ≤ 0.2 fcd =	2,833	
coeff. di sicurezza del materiale	γ <sub>c</sub>		1,50	OK
Taglio resistente - prima parte	V <sub>rd,1</sub> [kN]		118,80	
Taglio resistente - seconda parte	V <sub>rd,2</sub> [kN]		108,73	
<b>Taglio resistente</b>	<b>V<sub>rd</sub> [kN]</b>		<b>118,80</b>	

#### 5.1.5.5 Verifiche a taglio – dir 2

Per la verifica a taglio nella direzione 1 si fa affidamento solo all'armatura a flessione presente. Non si prevede armatura particolare per taglio

L'armatura long. Disposta in dir.1 è: 1@16/200 sia all'intradosso che all'estradosso.

##### - Analisi taglio resistente -

Tensione caratteristica CLS	C25/30	fck [N/mm <sup>2</sup> ]	25,00	
Tensione di progetto CLS	C25/30	fcd [N/mm <sup>2</sup> ]	14,17	
Larghezza minima sezione	bw [mm]		1000	
Altezza utile sez.	dm,t [mm]		252,00	
Area utile sezione	Ac,t [mm <sup>2</sup> ]		252000	
Area armatura long. Tesa	As,t,tot [mm <sup>2</sup> ]		1005,31	
Rapp. geom. di armatura tesa	ρ <sub>l,t</sub> [%]	0,399% ≤ 2%		OK
	k		1,891	
	v <sub>min</sub>		0,455	
Tensione med. di compr.	σ <sub>cp</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00 ≤ 0.2 fcd =	2,833	
coeff. di sicurezza del materiale	γ <sub>c</sub>		1,50	OK

Taglio resistente - prima parte	Vrd,1 [kN]	123,08
Taglio resistente - seconda parte	Vrd,2 [kN]	114,67
<b>Taglio resistente</b>	<b>Vrd [kN]</b>	<b>123,08</b>