



CITTÀ DI ALESSANDRIA  
Piazza della Libertà, 1 -15121, Alessandria  
Tel. 0131515111 P.IVA 00429440068  
PEC: comunedialessandria@legalmail.it

STR  
RES

PR

ENERGY MEP  
ENGINEERING MODELS

Studio di ingegneria ENERGYMEP  
sede operativa via Duino 128, Torino 10127 - Tel. 3474559751  
Email: info@energymep.it - PEC: damiano.zurlo@ingpec.eu  
www.energymep.it

MEP2020-058.2

PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO ALLE NORME  
DI PREVENZIONE E PROTEZIONE DAGLI INCENDI E ABBATTIMENTO DELLE BARRIERE  
ARCHITETTONICHE DI ALCUNE SCUOLE (GRUPPO 3)

Pratica VVF n°  
13425

SCUOLA SECONDARIA PRIMO GRADO VOCHIERI  
P.ZA M. D'AZEGLIO 15

LIV. RISCHIO	SCUOLA TIPO	CAPENZA MAX
2	4	876

## PROGETTAZIONE ESECUTIVA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO E DEI LAVORI

PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO

arch. Fabrizio Furia

DIRETTORE ATTUATIVO DEL CONTRATTO

PROGETTO IMPIANTI FLUIDOMECCANICI

arch. Fabrizio Furia

ing. Damiano Zurlo

PROGETTO STRUTTURALE

PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI

ing. Damiano Zurlo  
ing. Marcello Concas

ing. Damiano Zurlo

PROGETTO IMPIANTI ANTINCENDIO

REVISIONI

LOTTO T

ing. Damiano Zurlo

PROFESSIONISTA  
ANTINCENDIO  
N° TO11975101888  
MINISTERO INTERNO

N°	Descrizione	Data
3	REVISIONE EP. - EMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO	17/05/21
4	REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO	31/05/21

Data  
Redazione

10/05/2021

Verifica  
Redazione

Data  
Emissione

31/05/21

Verifica  
Emissione

Nome file

MEP2020-058.2.rvt

File stile di  
stampa (ctb)

----

Modello

N° Revisione

4

Data Revisione

31/05/21

Codice Tavola

MEP2020-058.2\_ESE\_11\_RES\_GEN\_REV4

Scala

Sottotitolo tavola

RELAZIONE SPECIALISTICA  
STRUTTURE

MACROAREA

STR

N° Tavola

11

Progettato da DZ; Verificato da DZ

**ADEGUAMENTO ANTINCENDIO - SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI**  
**PRATICA VVF 1936**

**PROGETTO ESECUTIVO**  
**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA**  
**STRUTTURE**



**SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI - PRATICA VVF 1936**

**P.ZLE MASSIMO D'AZEGLIO 1, 15121, ALESSANDRIA**

**CUP: I39C18000050004 – CIG: ZEF2DEF1C7**

**Codice MEP2020-058.2**

Committente: Comune di Alessandria (AL) – Proprietario dello stabile  
Settore Lavori Pubblici, Infrastrutture, Disability Manager e Smart City  
RUP: Arch. Fabrizio Furia  
Comune: Alessandria (AL), Piazza della Libertà, 1, 15121 Alessandria AL  
Progettista: ing. DAMIANO ZURLO

17/05/2021  
rev 3.0

**ADEGUAMENTO ANTINCENDIO - SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI**  
**PRATICA VVF 1936**

1. **INTRODUZIONE** ..... **4**  
1.1. **PREMESSA**..... **4**  
2. **LAVORAZIONI STRUTTURALI** ..... **4**  
2.1. **ALLEGATO DI CALCOLO STRUTTURALE** ..... **6**

## ADEGUAMENTO ANTINCENDIO - SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI

### PRATICA VVF 1936

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. PREMESSA

L'obiettivo di questa relazione è di spiegare le scelte afferenti all'adeguamento antincendio del plesso scolastico poco fuori Alessandria, denominato "**VOCHIERI**". Tipica scuola secondaria di primo grado, in città, con circa 3+2 aule scolastiche per semi-piano e diverse attività fruite anche fuori dal contesto propriamente scolastico. Da una prima sintesi effettuabile, possiamo denotare delle gravi carenze inerenti al plesso che possiamo sintetizzare nella lista sotto:

- carenze impiantistiche, meglio richiamate nella relazione specialistica dedicata
- insufficienza delle vie di esodo (sia per la scuola che per la piscina)

Si sceglie con la presente di seguire il **DM del 1992** sulle scuole, in luogo del codice di prevenzione incendi. Da questo punto specifico, si sono delineate le esigenze al seguito individuate, specifiche per il profilo strutturale:

- Disporre di n°2 rampe di scale (a 1 rampa) necessarie al deflusso delle persone del mezzanino afferente il piano terra
- Disporre di n°1 scala dedicata esterna al blocco "P" capace di far defluire (seconda uscita, richiesta dal DM 1996 sulle attività sportive) le persone a servizio della piscina

In ragione di queste esigenze sopra menzionate, si è proceduto alla stesura dei documenti progettuali che spiegano le opere di carpenteria metallica, necessarie alla rispondenza strutturale.

Si rimanda all'allegato di calcolo per i risultati di calcolo e le valutazioni adoperate.

## 2. LAVORAZIONI STRUTTURALI

Tra le opere strutturali principali possiamo indicare:

- FPO di 2 scale metalliche a 1 rampa per l'esodo dei mezzanini del piano terreno
- FPO di 1 scala metallica (coperta) per il secondo esodo della piscina.

Nel dettaglio, si prevede la realizzazione di n°3 scale di sicurezza in carpenteria metallica, con fondazioni in calcestruzzo armato.

Due scale, tra loro uguali ed entrambe esterne, denominate M1sx e N1dx, sono a servizio della scuola, mentre una terza, anch'essa esterna, denominata A1, è a servizio della piscina.

Le scale a servizio della scuola sono costituite da un'unica rampa, con struttura indipendente rispetto all'edificio servito, e sono atte a superare un dislivello di 1,85 m: partono dal piano esterno cortile per sbarcare su pianerottolo esistente di altre scale esistenti denominate Msx e Ndx. La larghezza della rampa è pari a 1,25 m, i cosciali di rampa sono realizzati con profili UNP 180 appoggiati su telaio in HEA 120, mentre gradini e pianerottolo sono realizzati in grigliato metallico antitacco. Alla base del telaio e dei cosciali sono previste travi di fondazione in c.a. di sezione 50x30. Per tali travi è previsto lo scavo all'interno del cortile.

La scala a servizio della piscina è costituita da una rampa esterna e parallela all'edificio, che trova sede nell'intercapedine esistente. Anche in questo caso la struttura portante della scala è indipendente dalle

## **ADEGUAMENTO ANTINCENDIO - SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI**

### **PRATICA VVF 1936**

strutture principali dell'edificio. La scala è atta a superare un dislivello di 0,93 m. La larghezza della rampa è pari a 1,20 m, i cosciali di rampa sono realizzati con profili UNP 180 appoggiati su telai in HEA 120, mentre gradini e pianerottolo sono realizzati in grigliato metallico antitacco. Alla base dei telai sono previste travi di fondazione in c.a. di sezione 50x30, che appoggeranno sul pavimento del piano interrato, previa verifica dell'idoneità dello stesso.

I parapetti di tutte le scale saranno realizzati con profili scatolati e tondini, direttamente saldati ai cosciali. A protezione della scala è prevista una tettoia in acciaio con copertura in polycarbonato alveolare. La tettoia è appoggiata sulla muratura dell'edificio e su un telaio dotato di fondazione propria in c.a. Le dimensioni della tettoia sono di m 5,2x2,3 circa.

## **ADEGUAMENTO ANTINCENDIO - SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI PRATICA VVF 1936**

### **2.1. ALLEGATO DI CALCOLO STRUTTURALE**

**REGIONE PIEMONTE**

**PROVINCIA DI ALESSANDRIA**

**COMUNE DI ALESSANDRIA**

**SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO VOCHIERI  
P.za M. D'Azeglio 15**

**RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE  
SCALE METALLICHE**

**Ing. Marcello Concas**

Studio Ing. Marcello Concas e Associati

Via Botticelli 80 – 10154 Torino

tel. +39 011 887040

marce.concas@gmail.com



ordine degli ingegneri

della provincia di Torino

N°7408Y

Torino, 20/05/2021

## Sommario

<b>Sommario .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Normativa di riferimento .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Metodo e codici di calcolo .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Caratteristiche dei materiali .....</b>	<b>7</b>
<b>5. Zonazione sismica, vita nominale, classe d'uso .....</b>	<b>7</b>
<b>6. Analisi dei carichi scala .....</b>	<b>8</b>
6.1 Azioni permanenti .....	8
6.2 Azioni variabili .....	8
6.3 Azione sismica .....	8
<b>7. Condizioni e combinazioni di calcolo .....</b>	<b>11</b>
<b>8. Modello della struttura - scala .....</b>	<b>12</b>
<b>9. Calcolo e risultati .....</b>	<b>14</b>
9.1 Inviluppo sollecitazioni .....	15
9.1.1 Sforzo normale .....	15
9.1.2 Momento flettente .....	15
9.1.3 Taglio .....	16
9.2 Sollecitazioni massime .....	17
9.2.1 Sollecitazioni massime Pilastro HEA 120 .....	17
9.2.2 Sollecitazioni massime Trave HEA 120 .....	17
9.2.3 Sollecitazioni massime Trave UPN 180 .....	18
9.2.4 Sollecitazioni massime Pilastro UPN 180 .....	18
9.2.5 Sollecitazioni massime Tubi Quadri 80x2,9 .....	18
9.3 Deformazioni .....	18
9.4 Pressioni su terreno .....	19
<b>10. Verifiche elementi strutturali scala .....</b>	<b>20</b>
10.1 Pilastri profilo HEA 120 .....	20
10.2 Cosciali UPN 180 .....	20
10.3 Trave profilo HEA 120 .....	21
<b>11. Verifica travi di fondazione scala .....</b>	<b>22</b>
11.1 Travata: Travata 6 Nodi 26 3 2 27 .....	23
11.2 Travata: Travata 7 Nodi 29 7 6 28 .....	23



## 1. Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di tre scale di sicurezza carpenteria metallica con fondazione in calcestruzzo armato. Due scale, tra loro uguali ed entrambe esterne, denominate M1sx ed N1dx, sono a servizio della scuola, mentre una terza denominata A1 è a servizio della piscina.

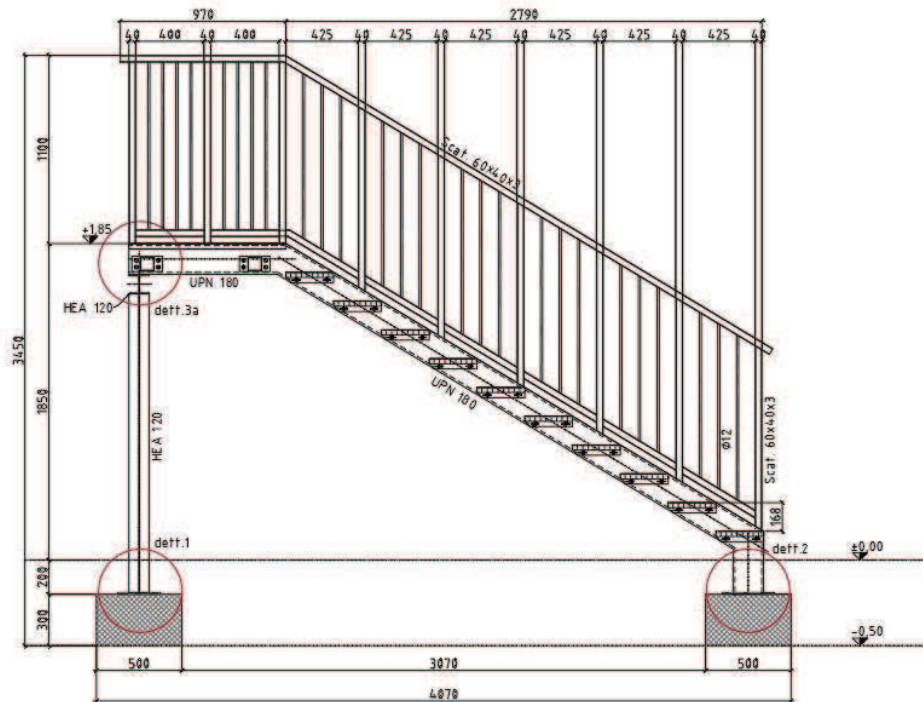


Figura 1: Scale in carpenteria metallica N1dx ed M1sx

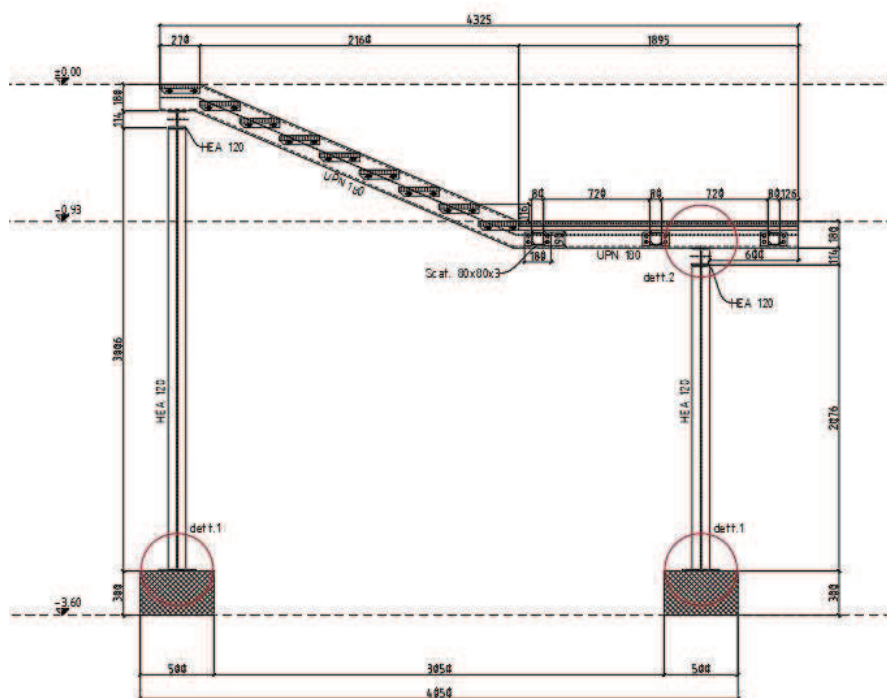


Figura 2: Scala in carpenteria metallica A1

Nello specifico, verranno analizzate le strutture in elevazione, costituite da travi e pilastri in acciaio e le strutture di fondazione (travi) relative ad una sola tipologia di scala in quanto tra loro possono essere considerate analoghe per schema statico e dimensioni. L'analisi scelta è di tipo statica e dinamica modale senza condensazione di piano e si considera la struttura come non dissipativa.

## 2. Normativa di riferimento

---

L'analisi strutturale è stata effettuata in base alle normative vigenti. In particolare per la definizione dei carichi, le analisi e le verifiche si è fatto riferimento al quadro normativo delineato del D.M. 17/01/18 (Norme Tecniche per le Costruzioni). Per quanto non riportato sul Decreto si sono seguite le indicazioni degli Eurocodici e della Circolare applicativa delle NTC medesime. Le verifiche degli elementi è stata svolta seguendo il metodo degli Stati Limite.

Nel seguito è riportato il dettaglio delle norme tecniche, procedurali ed amministrative alle quali si è fatto riferimento durante la progettazione.

- DM 17/01/2018, "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7, Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018
- UNI EN 1990:2006 Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale
- UNI EN 1991-1-1:2004 Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-1: Azioni in Generale – Pesì per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici.
- UNI EN 1991-1-4:2005 Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in Generale – Azioni del Vento
- UNI EN 1993-1-1:2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1998-1:2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- Legge n. 1086 del 05.11.1971, Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Legge n. 64 del 02.02.1974, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

## 3. Metodo e codici di calcolo

---

Le verifiche sono state condotte adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite; sono stati soddisfatti i requisiti per la sicurezza allo stato limite ultimo (anche sotto l'azione sismica) e allo stato limite di esercizio. La schematizzazione della procedura progettuale adottata può essere così sinteticamente riassunta:

- individuazione della classe d'uso dell'opera e della sua vita utile;

- definizione delle azioni agenti in condizioni statiche e dinamiche attraverso l'individuazione delle condizioni di carico;
- predisposizione delle combinazioni di carico (con i relativi coefficienti di combinazione) allo SLU, SLE, SLV e SLD;
- stima dell'involuppo delle azioni agenti;
- verifica degli elementi strutturali

La sicurezza e le prestazioni saranno garantite verificando gli stati limite sopra definiti in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme; in particolare si è verificata:

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU e SLV) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quanto previsto dalle NTC per i vari tipi di materiale
- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (SLE) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio
- la sicurezza nei riguardi dello stato limite del danno (SLD) causato da azioni sismiche con opportuni periodi di ritorno definiti di concerto al committente ed alle norme vigenti per le costruzioni in zona sismica;

L'analisi scelta è di tipo statica e dinamica modale senza condensazione di piano e si considera la struttura come non dissipativa.

La ricerca dei parametri di sollecitazione è stata fatta secondo le disposizioni di carico più gravose avvalendosi di codici di calcolo automatico per l'analisi strutturale. Tali codici sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche.

Per l'analisi della struttura si è utilizzato il software En.Ex.Sys. WinStrand Structural Analysis & Design.

**Ditta produttrice:** En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

**Sigla:** WinStrand

**Documentazione in uso:** Manuale teorico e manuale d'uso

**Campo di applicazione:** Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare

**Elementi finiti implementati:**

- Truss
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastri)
- Travi su suolo elastico alla Winkler
- Plinti su suolo elastico alla Winkler
- Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti

- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra)

#### **Schemi di carico:**

- Carichi nodali concentrati
- Carichi applicati direttamente agli elementi
- Carichi superficiali

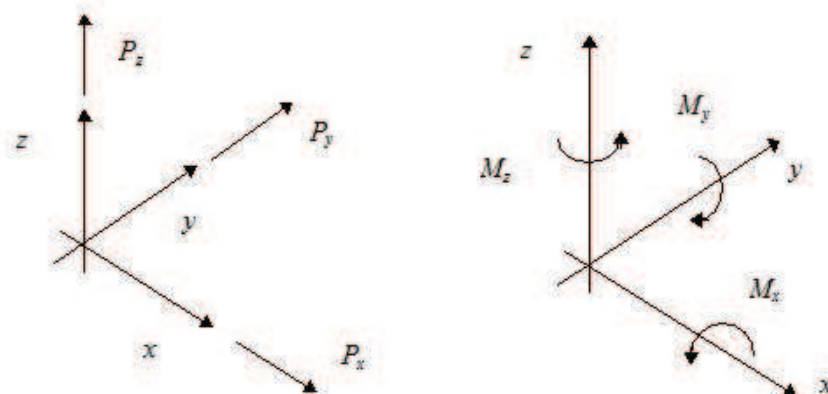
#### **Tipo di risoluzione:**

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio
- Fattorizzazione  $LDL^T$
- Analisi Statica:  
Modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo  
Ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per imp)
- Analisi dinamica:  
Via statica equivalente  
Modale con il metodo dello spettro di risposta

#### **Sistema di riferimento:**

La terna di riferimento generale è destrorsa. L'asse z generale coincide con l'asse verticale rivolto verso l'alto.

I versi positivi dell'applicazione dei carichi ai nodi:



La valutazione dell'attendibilità del software ha, inoltre, compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura.

Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità del risultato, come richiesto al §10.2 NTC18, il progettista strutturale assevera di aver effettuato:

- L'interpretazione della geometria dell'organismo strutturale;
- La definizione dell'azione sismica
- La definizione dei carichi strutturali, permanenti e variabili
- La scelta del modello più appropriato di calcolo.

E inoltre:

- Esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto
- Controllato accuratamente i tabulati di calcolo, il listato degli errori numerici del solutore e le tabelle di verifica delle sezioni
- Confrontato i risultati del software con quelli ottenuti con semplici calcoli di massima;
- Esaminato gli stati tensionali e deformativi e di ritenerli consistenti e coerenti con la schematizzazione e modellazione della struttura.

Pertanto ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n°1086/71 e n°64/74, e al DM 17/01/2018 (Norme tecniche per le costruzioni).

#### 4. Caratteristiche dei materiali

---

Nell'esecuzione delle opere in oggetto è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali:

- **Calcestruzzo**

Classe di resistenza: C25/30

Classe di consistenza: S4

Classe di esposizione: XC2

Dimensione massima dell'aggregato inerte pari a 25 mm

- **Acciaio per armatura**

Tipologia acciaio: B450C

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{t,k} = 540 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento  $f_{y,k} = 450 \text{ N/mm}^2$

- **Acciaio carpenteria**

Acciaio S275JR

#### 5. Zonazione sismica, vita nominale, classe d'uso

---

Le strutture oggetto della presente relazione sono localizzate in:

Comune: Alessandria

Provincia: Alessandria

Regione: Piemonte

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente; a tal fine è stata posta attenzione al tipo della struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze delle azioni indotte dal sisma. I parametri che, in questo senso, classificano la struttura sono:

Classe d'uso: IV

Vita Nominale  $V_n$ : 50 anni

Coefficiente d'uso  $C_u$ : 2

## 6. Analisi dei carichi scala

---

I valori delle azioni considerati nei calcoli sono quelli previsti dalle NTC, in particolare sono stati considerati i carichi di seguito riportati.

### 6.1 Azioni permanenti

- Peso proprio degli elementi strutturali: determinato dal software
- Carichi permanenti non strutturali
  - Scalini in grigliato e pianerottoli:  $30 \text{ kg/m}^2$
  - Parapetti:  $30 \text{ kg/m}$

### 6.2 Azioni variabili

- Sovraccarico Cat. C:  $400 \text{ kg/m}^2$  (§ 3.1.4 NTC18)

### 6.3 Azione sismica

L'analisi scelta è di tipo statica e dinamica modale con condensazione di piano e si considera la struttura come non dissipativa.

Per l'analisi sismica si sono impostati i seguenti parametri in accordo con il D.M. 2018:

- Tipo di Terreno: D
- Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ): 1.0000
- Vita nominale della costruzione ( $V_N$ ): 50.0 anni
- Classe d'uso IV coefficiente  $C_U$ : 2.0
- Classe di duttilità impostata: Non Dissipativa
- Fattore di duttilità  $\alpha_u/\alpha_1$  per sisma orizzontale: 1.00
- Fattore riduttivo regolarità in altezza  $K_R$ : 1.00
- Fattore riduttivo per la presenza di setti  $K_W$ : 1.00
- Smorzamento Viscoso (  $0.05 = 5\%$  ): 0.05



## TU 2018 - Dati generali

Tipo di suolo:

Condizioni Topografiche:

Coefficiente di amplificazione topografica ST:

Vita Nominale:

Vita nominale della struttura VN (anni):

Classe d'Uso:

Coefficiente d'uso CU:

Classe di duttilità della struttura: ☐ CDB ☐ CDA ☒ Struttura Non Dissipativa Help q factor

Fattore di struttura per sisma Orizzontale

Kr	<input type="text" value="1"/>	C SLV	<input type="text" value="1.5"/>	fattore di struttura q SLV	<input type="text" value="1.5"/>
Kw	<input type="text" value="1"/>	C SLC	<input type="text" value="1.5"/>	fattore di struttura q SLC	<input type="text" value="1.5"/>
$\alpha_w/\alpha_1$	<input type="text" value="1"/>	C SLD	<input type="text" value="1.5"/>	fattore di struttura q SLD	<input type="text" value="1.5"/>
$q_0 = C \alpha_w / \alpha_1$	$q = q_0 K_r K_w$	C SLO	<input type="text" value="1"/>	fattore di struttura q SLO	<input type="text" value="1"/>

Fattore di struttura per sisma Verticale

fattore di struttura q:

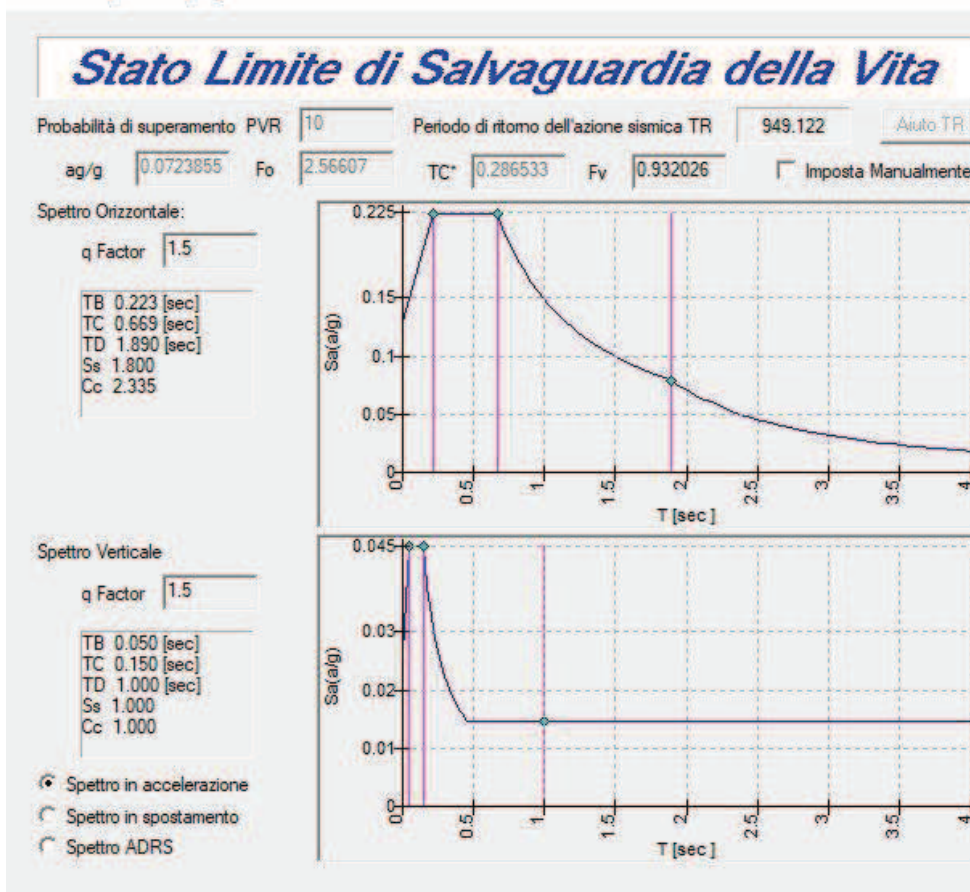
Strutture isolate:

☐ Abbatti lo spettro per  $T > 0.8 T_{is}$ :  Smorzamento equivalente  $\xi_{eq}$ :

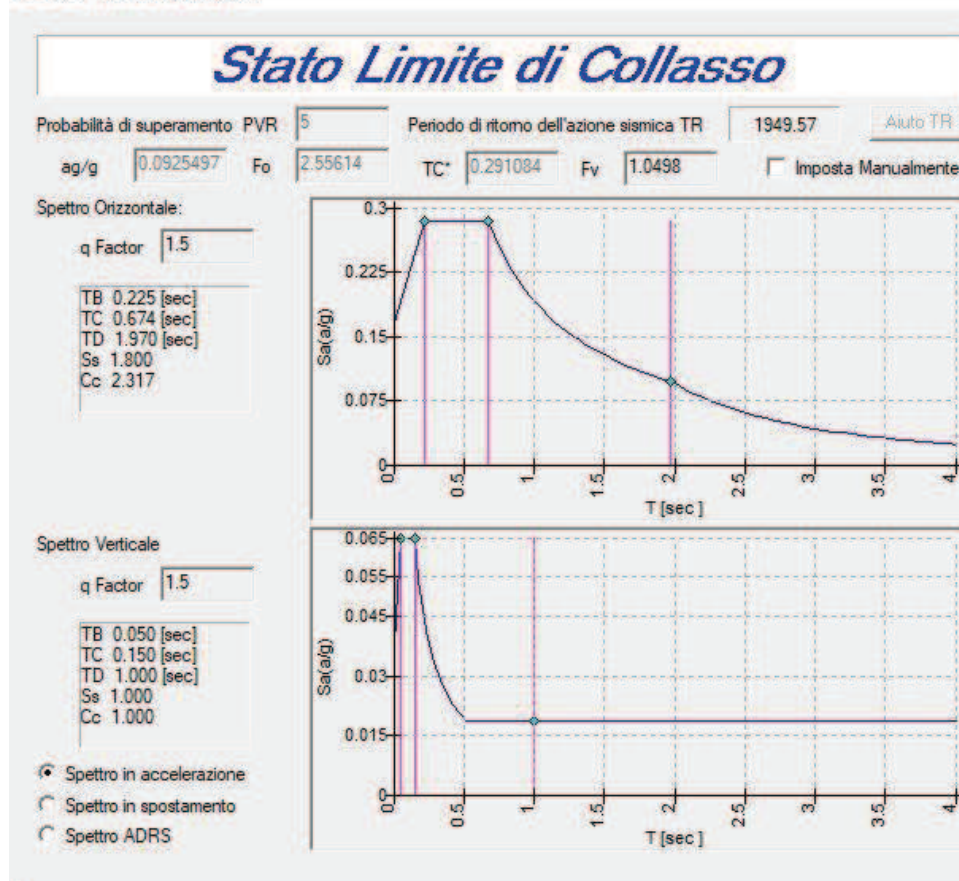
Esponente calcolo vulnerabilità:

Esponente nella formula  $T = (T_C / T_R)^a$ :

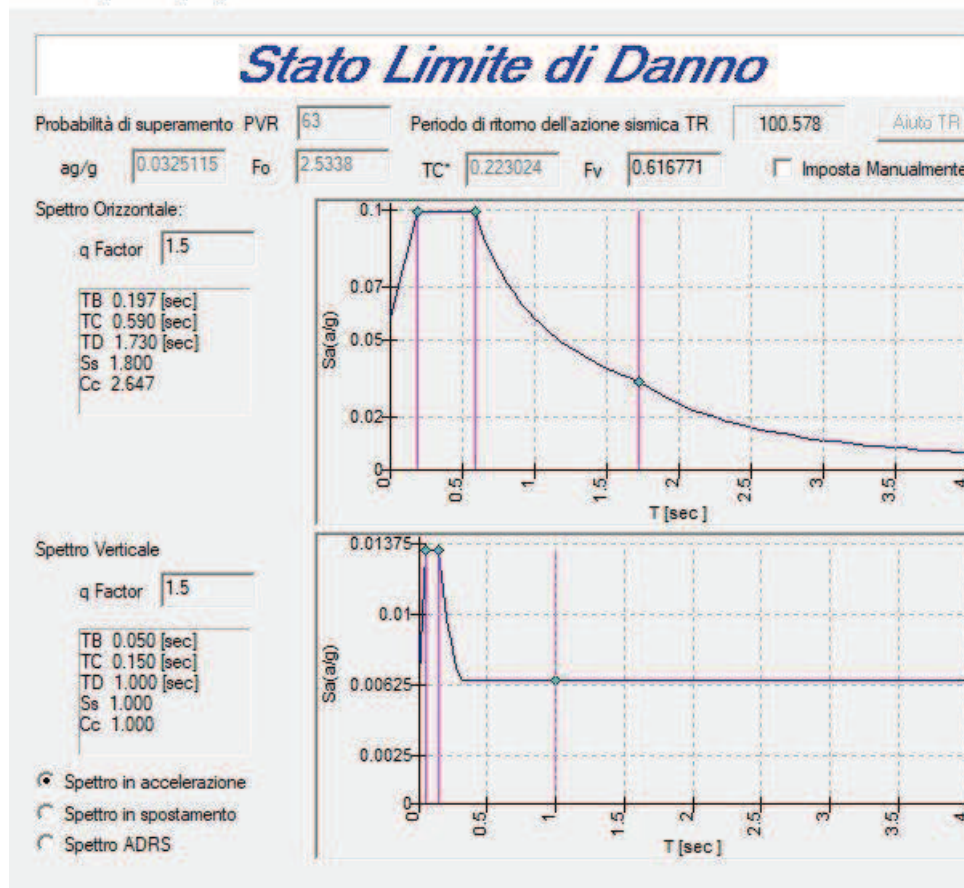
## TU 2018 - Spettro di progetto



TU 2018 - Spettro di progetto



TU 2018 - Spettro di progetto





TU 2018 - Spettro di progetto

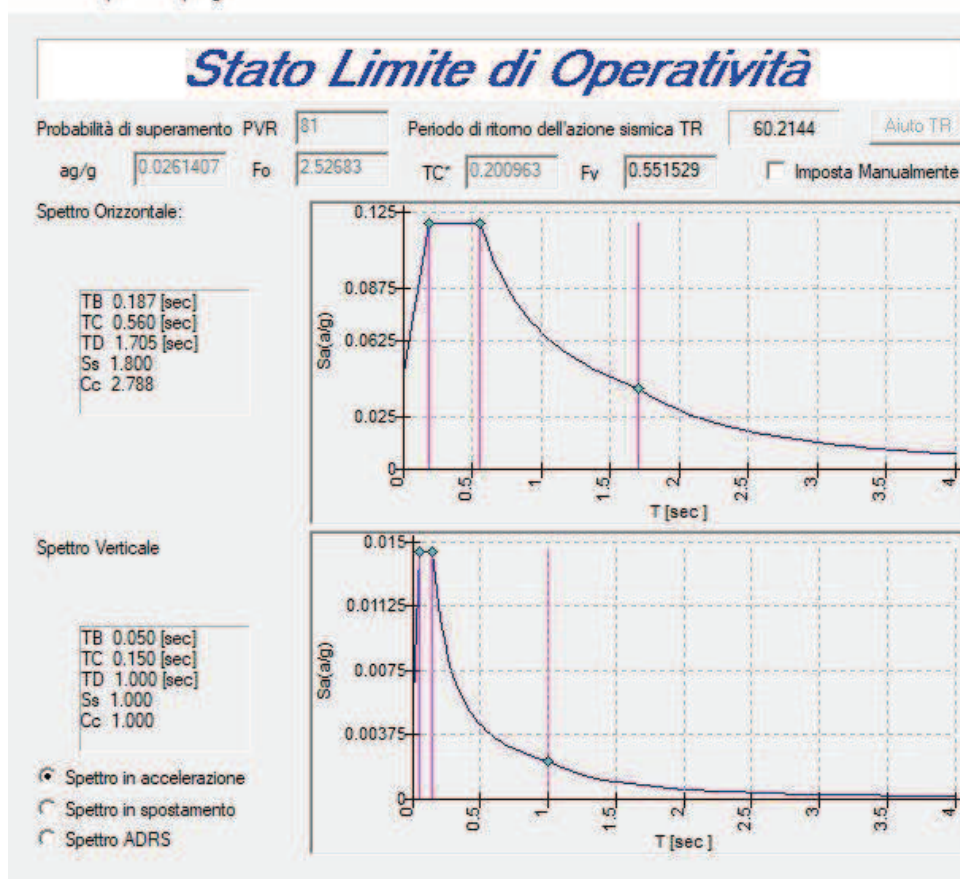


Tabella 1: Fattori di struttura

Stato Limite	$q_0 = C \alpha_u / \alpha_1$	$q_H$	$q_V$
SLV	1.50	1.50	1.50
SLD	1.50	1.50	1.50
SLC	1.50	1.50	1.50
SLO	1.00	1.00	1.00

## 7. Condizioni e combinazioni di calcolo

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- Combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- Combinazione rara

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots$$

## 8. Modello della struttura - scala

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche è stato adeguatamente valutato, interpretato e trasferito in un modello tridimensionale; tale modello ha consentito di effettuare un'analisi particolarmente reale sia della distribuzione di massa che della effettiva rigidezza.

La struttura modellata è composta da due travi di fondazione 50x30 cm in calcestruzzo. Le strutture in elevazione, invece, sono costituite da colonne HEA 120, una traversa HEA 120 e i due cosciali della scala UPN 180. Inoltre sono stati inseriti due scatolari 80x80x3 trasversalmente in corrispondenza del pianerottolo. L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto considerando un comportamento lineare alla Winkler. Le caratteristiche delle sezioni sono riassunte nella Tabella 2:

Tabella 2: Caratteristiche sezioni

SEZIONE	Area [cm <sup>2</sup> ]	J <sub>t</sub> [cm <sup>4</sup> ]	J <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	J <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	J <sub>xy</sub> [cm <sup>4</sup> ]	X <sub>x</sub>	X <sub>y</sub>
1 – HEA 120	25.39	6	607	231	0	4.1	1.3
2 – UPN 180	27.98	8	1354	113	0	2.0	1.9
3 – Tubi quadri (80x80x3)	8.57	136	83	83	0	1.9	1.9
4- Trave Rett. 50x30	1500.0	273656	112500	312500	0	1.2	1.2

Le caratteristiche dei materiali assegnate sono le seguenti:

Tabella 3: Caratteristiche dei materiali

MATERIALE	E [kg/cm <sup>3</sup> ]	$\nu$	$\alpha$ [1/°C]	Peso specifico [kg/m <sup>3</sup> ]
1 - Calcestruzzo	300 000	0.12	0.000012	2 500
2 - Acciaio	2 100 000	0.33	0.000012	7 850

I pilastri e le travi sono stati schematizzati considerando elementi tipo Beam che modellino sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente. Le figure di seguito riportate illustrano il modello adottato, la numerazione dei nodi, i carichi applicati.

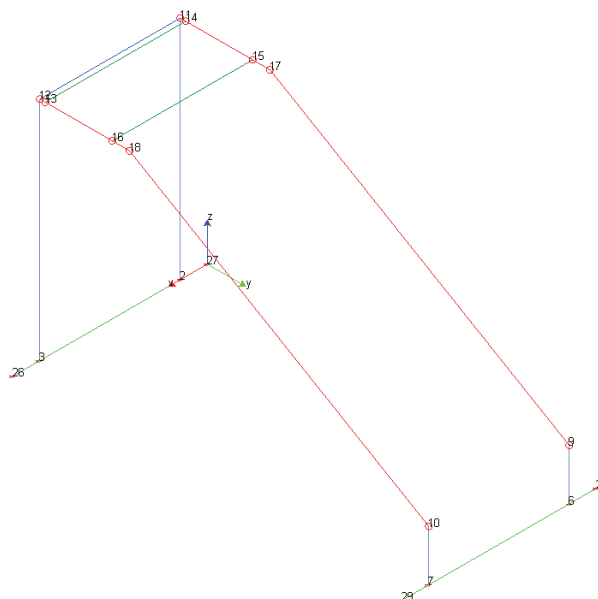


Figura 2: Schema modello e numerazione nodi

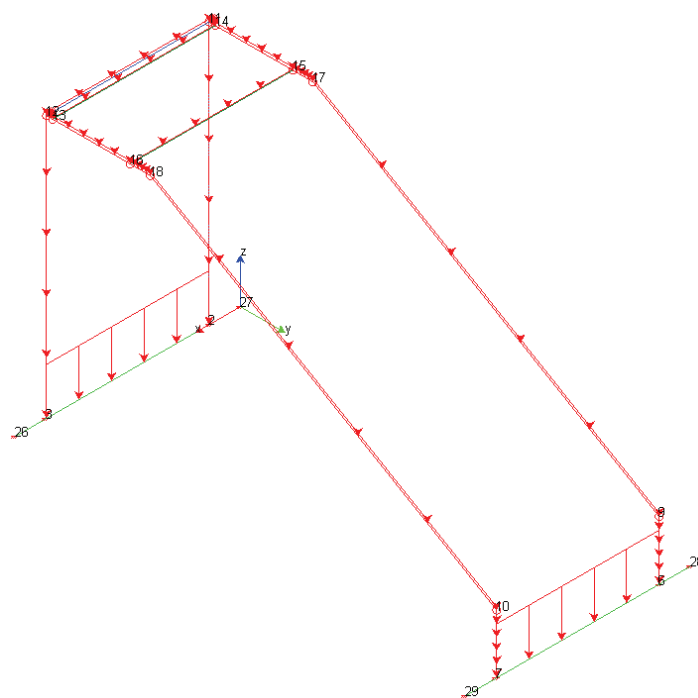


Figura 3: peso proprio

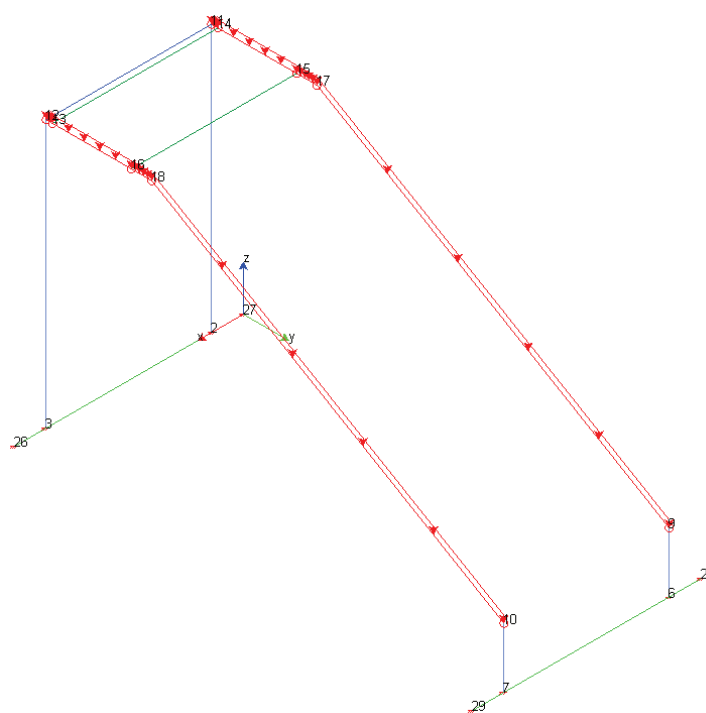


Figura 4: Carichi permanenti non strutturali

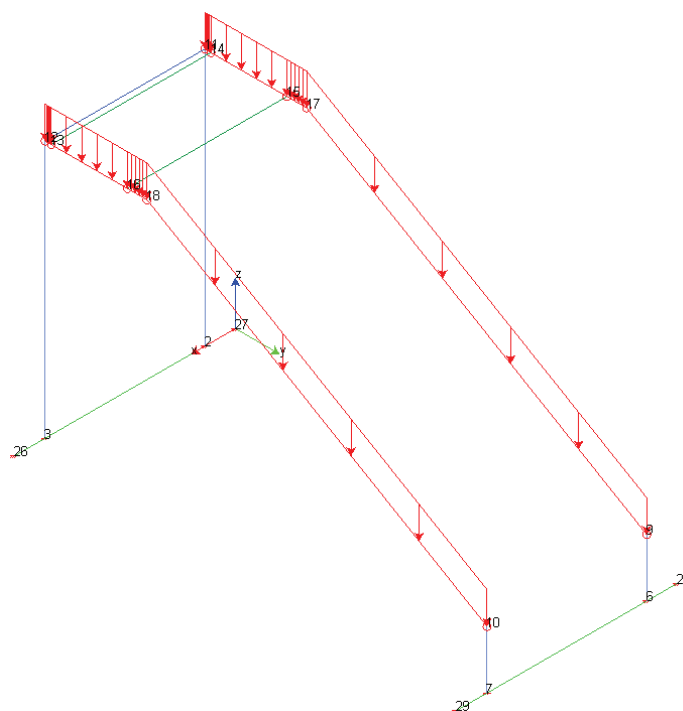


Figura 5: Carichi variabili (folla)

## 9. Calcolo e risultati

Di seguito si riportano i diagrammi più significativi delle sollecitazioni in termini di involucro.

Per ogni diagramma vengono indicati i valori di sollecitazione massima (in modulo).

## 9.1 Involuppo sollecitazioni

### 9.1.1 Sforzo normale

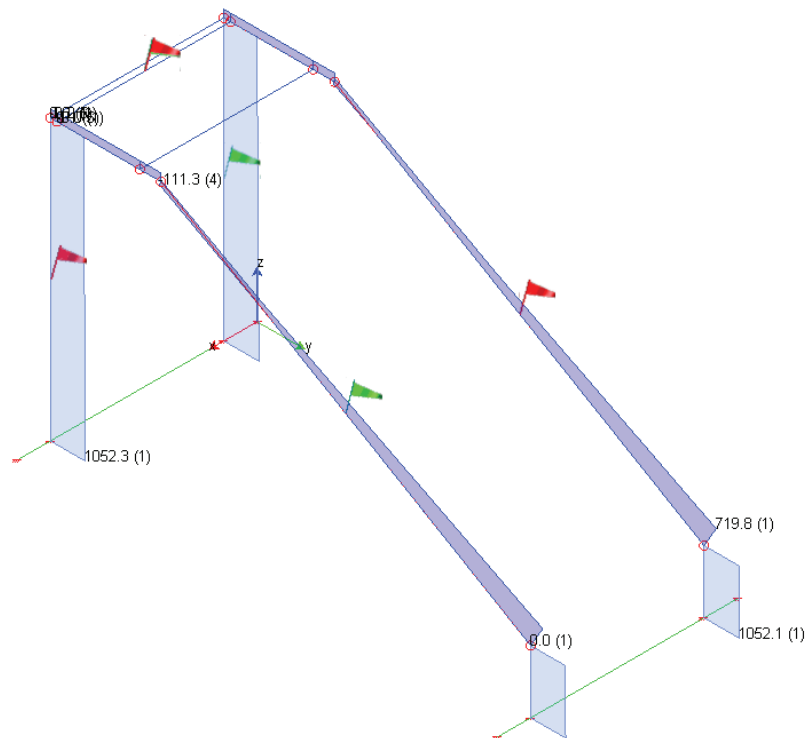


Figura 6: Involuppo sforzi normali

### 9.1.2 Momento flettente

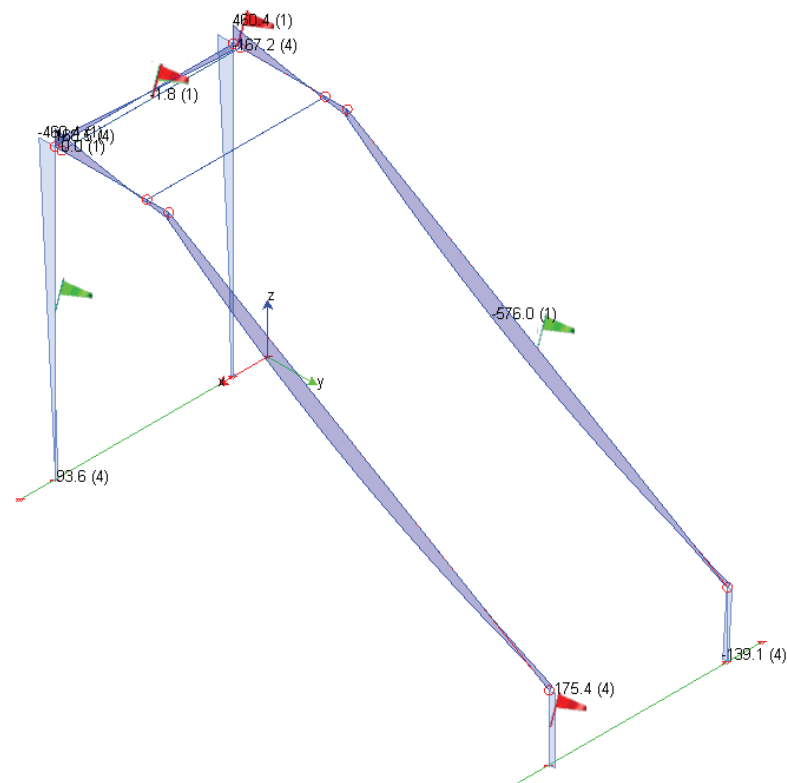
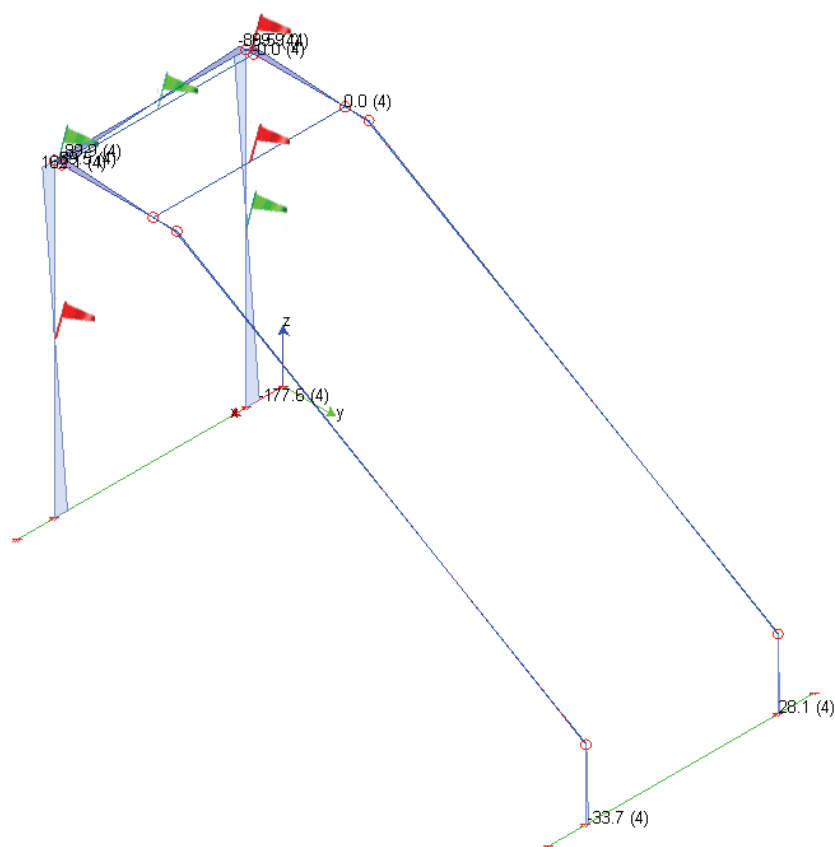
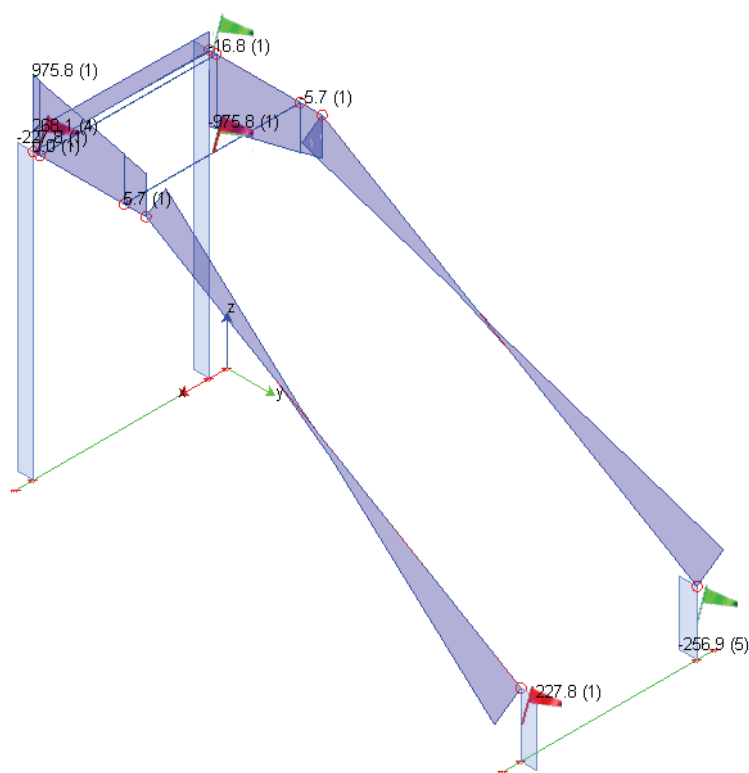
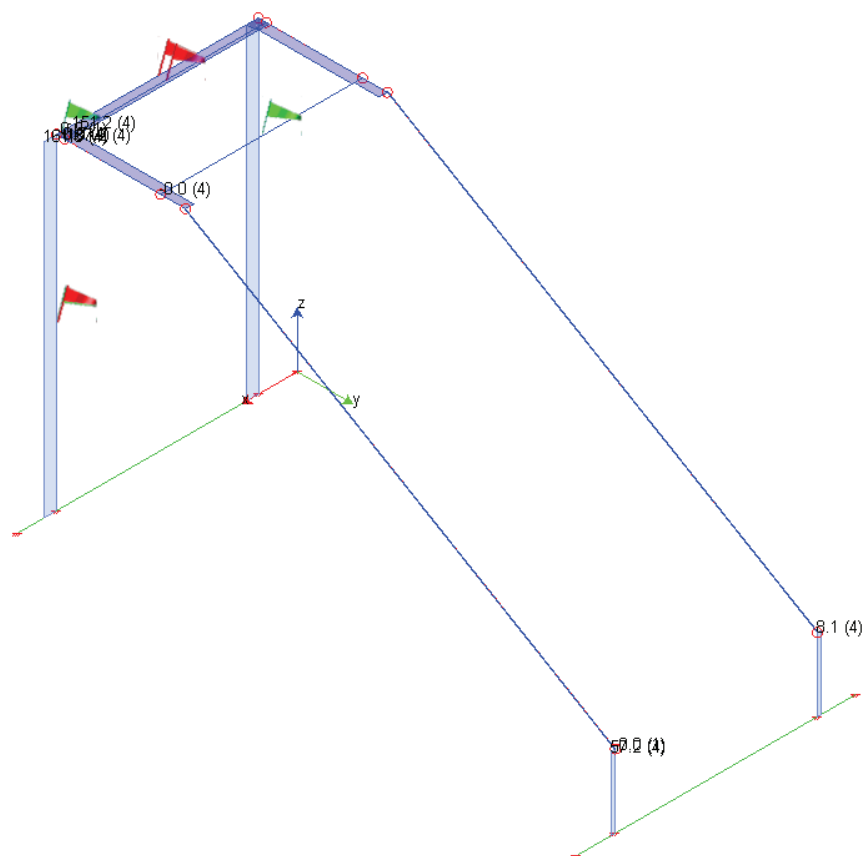


Figura 7: involucro momento flettente  $M_{1-2}$

Figura 8: involucro momento flettente  $M_{1-3}$ 

### 9.1.3 Taglio

Figura 9: involucro taglio  $V_{1-2}$

Figura 10: involucro taglio  $V_{1-3}$ 

## 9.2 Sollecitazioni massime

Nelle tabelle in seguito si riportano le sollecitazioni massime delle aste più sollecitate.

### 9.2.1 Sollecitazioni massime Pilastro HEA 120

Sforzo normale	Min asta 11 2	151.4 [kg]	Comb. 4	Max asta 12 3	1052.3 [kg]	Comb. 1
Taglio piano 1-2	Min asta 12 3	-228.6 [kg]	Comb. 1	Max asta 11 2	-56.0 [kg]	Comb. 4
Taglio piano 1-3	Min asta 12 3	-0.2 [kg]	Comb. 1	Max asta 12 3	161.6 [kg]	Comb. 4
Momento torcente	Min asta 12 3	-0.0 [kgm]	Comb. 1	Max asta 12 3	0.4 [kgm]	Comb. 4
Momento Flet. piano 1-2	Min asta 12 3	-460.4 [kgm]	Comb. 1	Max asta 12 3	93.6 [kgm]	Comb. 4
Momento Flet. piano 1-3	Min asta 11 2	-177.6 [kgm]	Comb. 4	Max asta 12 3	162.1 [kgm]	Comb. 4

### 9.2.2 Sollecitazioni massime Trave HEA 120

Sforzo normale	Min asta 12 11	-0.2 [kg]	Comb. 1	Max asta 12 11	0.3 [kg]	Comb. 5
Taglio piano 1-2	Min asta 12 11	-16.8 [kg]	Comb. 1	Max asta 12 11	271.2 [kg]	Comb. 4
Taglio piano 1-3	Min asta 12 11	-0.0 [kg]	Comb. 1	Max asta 12 11	137.6 [kg]	Comb. 4
Momento torcente	Min asta 12 11	-0.5 [kgm]	Comb. 4	Max asta 12 11	-0.0 [kgm]	Comb. 6
Momento Flet. piano 1-2	Min asta 12 11	-167.2 [kgm]	Comb. 4	Max asta 12 11	168.5 [kgm]	Comb. 4
Momento Flet. piano 1-3	Min asta 12 11	-89.5 [kgm]	Comb. 4	Max asta 12 11	89.5 [kgm]	Comb. 4

### 9.2.3 Sollecitazioni massime Trave UPN 180

Sforzo normale	Min asta 18 10	-111.3 [kg]	Comb. 4	Max asta 9 17	719.8 [kg]	Comb. 1
Taglio piano 1-2	Min asta 14 11	-974.3 [kg]	Comb. 1	Max asta 12 13	974.3 [kg]	Comb. 1
Taglio piano 1-3	Min asta 12 13	-151.2 [kg]	Comb. 4	Max asta 9 17	8.1 [kg]	Comb. 4
Momento torcente	Min asta 12 13	-6.4 [kgm]	Comb. 4	Max asta 9 17	2.8 [kgm]	Comb. 4
Momento Flet. piano 1-2	Min asta 9 17	-576.0 [kgm]	Comb. 1	Max asta 14 11	460.4 [kgm]	Comb. 1
Momento Flet. piano 1-3	Min asta 12 13	-89.9 [kgm]	Comb. 4	Max asta 14 11	89.9 [kgm]	Comb. 4

### 9.2.4 Sollecitazioni massime Pilastro UPN 180

Sforzo normale	Min asta 10 7	470.4 [kg]	Comb. 4	Max asta 6 9	1052.1 [kg]	Comb. 1
Taglio piano 1-2	Min asta 6 9	-263.3 [kg]	Comb. 5	Max asta 10 7	228.6 [kg]	Comb. 1
Taglio piano 1-3	Min asta 10 7	-0.0 [kg]	Comb. 1	Max asta 10 7	57.2 [kg]	Comb. 4
Momento torcente	Min asta 6 9	-6.0 [kgm]	Comb. 4	Max asta 10 7	0.0 [kgm]	Comb. 1
Momento Flet. piano 1-2	Min asta 6 9	-139.1 [kgm]	Comb. 4	Max asta 10 7	175.4 [kgm]	Comb. 4
Momento Flet. piano 1-3	Min asta 10 7	-33.7 [kgm]	Comb. 4	Max asta 6 9	28.1 [kgm]	Comb. 4

### 9.2.5 Sollecitazioni massime Tubi Quadri 80x2,9

Sforzo normale	Min asta 13 14	-0.0 [kg]	Comb. 1	Max asta 13 14	0.1 [kg]	Comb. 5
Taglio piano 1-2	Min asta 13 14	-5.7 [kg]	Comb. 1	Max asta 13 14	5.7 [kg]	Comb. 1
Taglio piano 1-3	Min asta 16 15	-0.0 [kg]	Comb. 4	Max asta 13 14	0.0 [kg]	Comb. 4

## 9.3 Deformazioni

Le deformazioni massime allo SLE sono illustrate nella figura seguente:

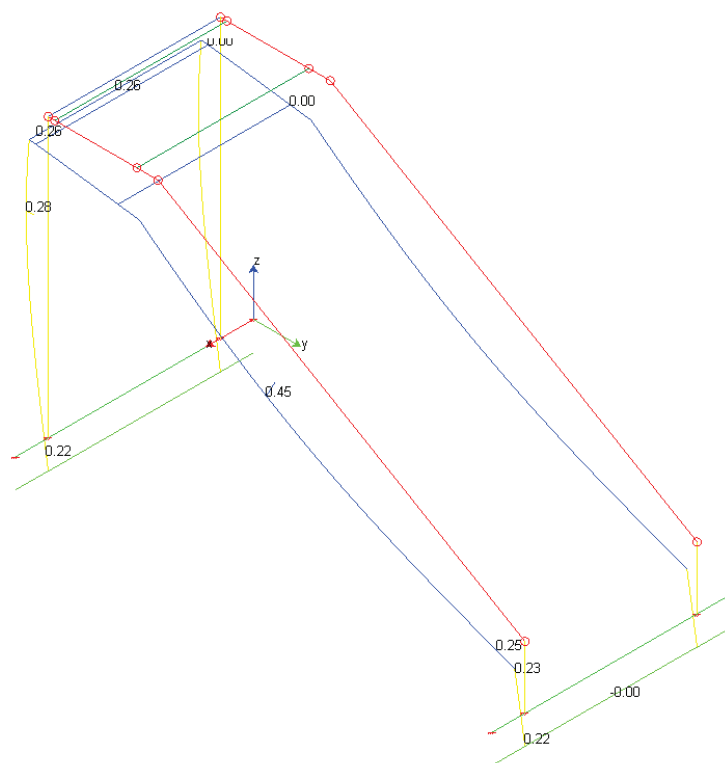


Figura11: Deformazioni

Lo spostamento massimo è pari a 4,5 mm valore compatibile con le condizioni di utilizzo della struttura.



## 9.4 Pressioni su terreno

Viene di seguito riportato l'involuppo delle pressioni trasmesse al terreno

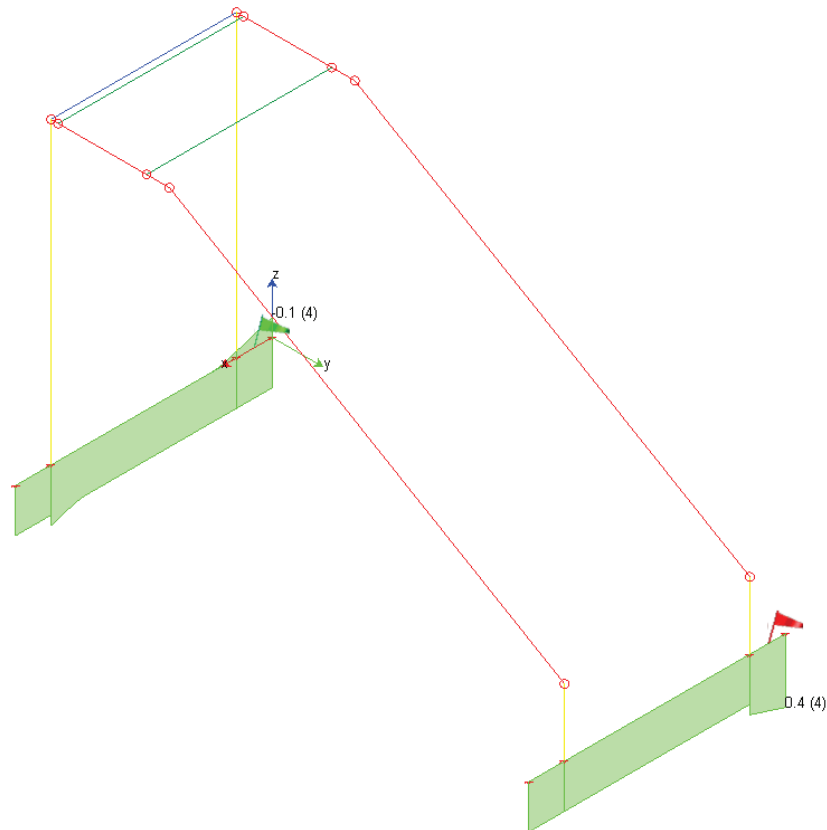


Figura 12: Pressioni su terreno

La pressione massima è pari a  $0,4 \text{ daN/cm}^2$ , valore estremamente basso e pertanto la verifica si considera automaticamente soddisfatta.

## 10. Verifiche elementi strutturali scala

### 10.1 Pilastri profilo HEA 120

- Resistenza (Componenti Azioni Interna)..... : - N - Mx - My
- Instabilità Nel Piano 1/2 ..... : Profilo singolo
- Instabilità Nel Piano 1/3 ..... : Profilo singolo
- Pressoflessione (Componenti Azioni Interna). : N - Mx - My
- Instabilità Flesso-Torsionale ..... : A doppio T
- Acciaio tipo ..... : Acciaio
- Tensione di Snervamento ..... : 2750.0 [kg/cm<sup>2</sup>]
- Tensione di Rottura ..... : 4300.0 [kg/cm<sup>2</sup>]

Asta		Luce [m]	Snellezza		Resistenza			Instabilità 1/2			Instabilità 1/3		
Da	A		1/2	1/3	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.
12	3	2.10	42.9	69.6	1	0.15	1	1	0.02	1	1	0.03	1
11	2	2.10	42.9	69.6	1	0.15	1	1	0.02	1	1	0.03	1

- Pilastri profilo UPN 180
- Resistenza (Componenti Azioni Interna)..... : - N - Mx - My
- Instabilità Nel Piano 1/2 ..... : Profilo singolo
- Instabilità Nel Piano 1/3 ..... : Profilo singolo
- Pressoflessione (Componenti Azioni Interna). : N - Mx - My
- Instabilità Flesso-Torsionale ..... : Non richiesta
- Acciaio tipo ..... : Acciaio
- Tensione di Snervamento ..... : 2750.0 [kg/cm<sup>2</sup>]
- Tensione di Rottura ..... : 4300.0 [kg/cm<sup>2</sup>]

Asta		Luce		Snellezza		Resistenza			Instabilità 1/2			Instabilità 1/3			Pressoflessione	
Da	A	[m]	1/2	1/3	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.
10	7	0.47	6.8	23.3	1	0.07	4	1	0.02	1	1	0.02	1	1	0.06	4
6	9	0.47	6.8	23.3	1	0.07	4	1	0.02	1	1	0.02	1	1	0.04	4

### 10.2 Cosciali UPN 180

- Resistenza (Componenti Azioni Interna)..... : - N - Mx - My
- Instabilità Nel Piano 1/2 ..... : Profilo singolo
- Instabilità Nel Piano 1/3 ..... : Profilo singolo
- Pressoflessione (Componenti Azioni Interna). : N - Mx - My
- Instabilità Flesso-Torsionale ..... : Non richiesta
- Acciaio tipo ..... : Acciaio
- Tensione di Snervamento ..... : 2750.0 [kg/cm<sup>2</sup>]
- Tensione di Rottura ..... : 4300.0 [kg/cm<sup>2</sup>]

Asta		Luce [m]	Snellezza		Resistenza			Instabilità 1/2			Instabilità 1/3			Pressoflessione		
Da	A		1/2	1/3	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.
16	18	0.16	2.3	7.9	1	0.04	1	1	0.00	1	1	0.00	1	1	0.04	1
13	16	0.62	8.9	30.8	1	0.12	4	1	0.00	1	1	0.00	1	1	0.10	1
12	13	0.05	0.7	2.5	1	0.13	4	1	0.00	1	1	0.00	1	1	0.11	4
17	15	0.16	2.3	7.9	1	0.04	1	1	0.00	1	1	0.00	1	1	0.04	1
15	14	0.62	8.9	30.8	1	0.12	4	1	0.00	1	1	0.00	1	1	0.10	1
14	11	0.05	0.7	2.5	1	0.13	4	1	0.00	1	1	0.00	1	1	0.11	4
18	10	3.21	46.2	159.6	1	0.13	1	1	0.01	1	1	0.05	1	1	0.13	1
9	17	3.21	46.2	159.6	1	0.13	1	1	0.01	1	1	0.05	1	1	0.13	1

### 10.3 Trave profilo HEA 120

Asta		Luce [m]	Snellezza		Resistenza			Instabilità 1/2			Instabilità 1/3			Pressoflessione		
Da	A		1/2	1/3	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.	Classe	Sd/Sr	Comb.
12	11	1.30	26.6	43.1	1	0.06	4	1	0.00	5	1	0.00	5	1	0.08	4

## 11. Verifica travi di fondazione scala

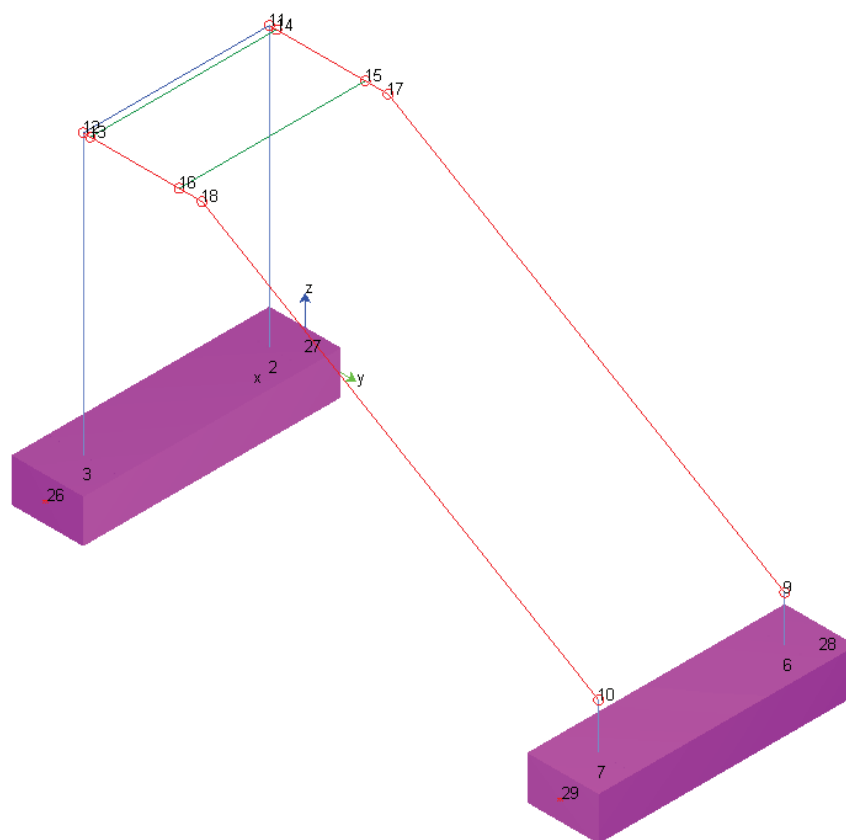


Figura 13: Rappresentazione travi di fondazione

## 11.1 Travata: Travata 6 Nodi 26 3 2 27

Nodo	x [m]	A <sub>fe</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>fi</sub> [cm <sup>2</sup> ]	q <sub>T</sub> [kg/m]	M <sub>rif</sub> [kgm]	M <sub>de</sub> [kgm]	M <sub>re</sub> [kgm]	x/d	M <sub>di</sub> [kgm]	M <sub>ri</sub> [kgm]	x/d	σ <sub>be</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>bi</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>fe</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	σ <sub>fi</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	w mm
<b>Trave di fondazione Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>																
26	0.05	0.94	1.34			0.0	896.5	0.14	-11.8	-1262.2	0.17					
				SLE Rare		0.0			-1.3			0.1	0.0	0.0	1.2	
Camp.	0.09	1.18	1.68			0.0	1114.8	0.16	-11.8	-1570.1	0.18					
				SLE Rare		0.0			-4.1			0.1	0.0	0.0	3.7	
3	0.13	1.41	2.02			0.0	1330.8	0.17	-11.8	-1874.7	0.20					
				SLE Rare		0.0			-8.3			0.3	0.0	0.1	7.6	
<b>Trave di fondazione Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>																
3	0.13	3.00	4.29			139.0	2731.2	0.23	0.0	-3846.5	0.27					
				SLE Rare		18.4			0.0			0.0	0.5	17.0	1.5	
Camp.	0.65	4.62	4.62			172.0	4118.7	0.28	0.0	-4118.7	0.28					
				SLE Rare		116.9			0.0			0.0	2.6	110.2	13.3	
2	1.17	2.40	3.43			87.0	2205.5	0.21	-155.5	-3107.1	0.25					
				SLE Rare		18.4			0.0			0.0	0.6	16.8	0.9	
<b>Trave di fondazione Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>																
2	0.13	0.81	1.16			4.5	779.0	0.14	-11.5	-1096.5	0.16					
				SLE Rare		0.0			-8.1			0.4	0.0	0.1	7.3	
Camp.	0.16	0.57	0.82			4.5	556.2	0.12	-11.5	-782.4	0.13					
				SLE Rare		0.0			-3.9			0.2	0.0	0.1	3.5	
27	0.20	0.33	0.48			4.5	329.4	0.09	-11.5	-462.8	0.10					
				SLE Rare		0.0			-1.2			0.1	0.0	0.1	1.1	

Da [m]	A [m]	Dx [m]	cotg(θ)	V <sub>Ed</sub> [kg]	V <sub>Rd,c</sub> [kg]	V <sub>Rcd</sub> [kg]	V <sub>Rd</sub> [kg]	T <sub>Ed</sub> [kgm]	T <sub>Rcd</sub> [kgm]	T <sub>Rsd</sub> [kgm]	Staffe
<b>Trave di fondazione 26 3 Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>											
0.05	0.13	0.08	1.00	189.8	5792.0	40800.1	7250.8	3.1	5269.6	1219.0	ø 8 2br. 12.5'
<b>Trave di fondazione 3 2 Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>											
0.13	1.17	1.05	1.00	546.7	5792.0	40800.1	7250.8	91.0	5269.6	2636.9	ø 8 2br. 12.5'
<b>Trave di fondazione 2 27 Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>											
0.13	0.20	0.08	1.00	187.6	5792.0	40800.1	7250.8	2.7	5269.6	433.9	ø 8 2br. 12.5'

## 11.2 Travata: Travata 7 Nodi 29 7 6 28

Nodo	x	A <sub>fe</sub>	A <sub>fi</sub>	q <sub>T</sub>	M <sub>rif</sub>	M <sub>de</sub>	M <sub>re</sub>	x/d	M <sub>di</sub>	M <sub>ri</sub>	x/d	σ <sub>be</sub>	σ <sub>bi</sub>	σ <sub>fe</sub>	σ <sub>fi</sub>	w
------	---	-----------------	-----------------	----------------	------------------	-----------------	-----------------	-----	-----------------	-----------------	-----	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	---

	[m]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[kgm]	[kgm]	[kgm]		[kgm]	[kgm]		[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	mm
<b>Trave di fondazione Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>																
29	0.05	4.51	7.94			0.0	4016.9	0.26	-11.8	-6890.9	0.35					
				SLE Rare		0.0			-1.3			0.0	0.0	0.1	0.7	
Camp.	0.09	5.15	8.40			0.0	4555.4	0.28	-11.8	-7262.3	0.36					
				SLE Rare		0.0			-4.1			0.1	0.0	0.3	2.2	
7	0.13	5.78	8.85			0.0	5090.7	0.29	-11.8	-7633.2	0.36					
				SLE Rare		0.0			-8.3			0.1	0.0	0.7	4.2	
<b>Trave di fondazione Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>																
7	0.13	8.58	11.88			86.6	7415.3	0.33	0.0	-10084.3	0.39					
				SLE Rare		17.9			0.0			0.0	0.3	6.9	1.9	
Camp.	0.65	6.41	12.58			171.0	5606.6	0.29	0.0	-10609.5	0.42					
				SLE Rare		114.8			0.0			0.0	2.1	79.5	11.4	
6	1.17	7.78	10.73			86.6	6750.3	0.32	-49.9	-9157.6	0.38					
				SLE Rare		17.9			0.0			0.0	0.3	7.6	1.9	
<b>Trave di fondazione Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>																
6	0.13	4.98	7.70			0.0	4414.1	0.27	-16.6	-6693.0	0.34					
				SLE Rare		0.0			-8.1			0.2	0.0	0.7	4.7	
Camp.	0.16	4.34	7.25			0.0	3874.8	0.26	-16.6	-6319.8	0.34					
				SLE Rare		0.0			-3.9			0.1	0.0	0.3	2.4	
28	0.20	3.71	6.79			0.0	3331.7	0.25	-16.6	-5945.7	0.33					
				SLE Rare		0.0			-1.2			0.0	0.0	0.1	0.8	

Da	A	Dx	cotg(θ)	V <sub>Ed</sub>	V <sub>Rd,c</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T <sub>Ed</sub>	T <sub>Rcd</sub>	T <sub>Rsd</sub>	Staffe
[m]	[m]	[m]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kgm]	
<b>Trave di fondazione 29 7 Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>											
0.05	0.13	0.08	1.00	189.8	5977.6	40800.1	7250.8	3.1	5269.6	2636.9	ø 8 2br. 12.5'
<b>Trave di fondazione 7 6 Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>											
0.13	1.17	1.05	1.00	543.0	6719.7	40800.1	7250.8	153.7	5269.6	2636.9	ø 8 2br. 12.5'
<b>Trave di fondazione 6 28 Sez. 9 Rett. 50x30 [cm]</b>											
0.13	0.20	0.08	1.00	264.3	5792.0	40800.1	7250.8	2.7	5269.6	2636.9	ø 8 2br. 12.5'

Torino, 20/05/2021

Ing. Marcello Concas

