

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
**ALBERTO BITOSSI**  
IL DIRETTORE ESECUTORE DEL CONTRATTO  
**ANTONIO ROSSA**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**PROGETTAZIONE**

**MANDANTARIA**

MANDANTE  
MANDANTE



MANDANTE



**ABDR architetti associati srl.**

STUDIO ARCHITETTONICO

**AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA**

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

*Dott. Ing. Alessandro Peresso*

SCALA:

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

E 2 1 D 0 0 D Z 3 R H F A 4 7 0 0 1 0 6 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE	ABDR	15/01/2022	P. Desideri	15/01/2022	A. Peresso	15/01/2022	
B	EMISSIONE	ABDR	01/03/2022	P. Desideri	01/03/2022	A. Peresso	01/03/2022	
C	EMISSIONE	ABDR	17/05/2022	P. Desideri	17/05/2022	A. Peresso	17/05/2022	
D	EMISSIONE PER COMMENTI	ABDR	07/2022	P. Desideri	07/2022	A. Peresso	07/2022	



NOME FILE: E21D-00-D-Z3-RH-FA4700-106-D

n. Elab.:



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">COMMESSA</th> <th style="width: 15%;">LOTTO</th> <th style="width: 15%;">CODIFICA</th> <th style="width: 15%;">DOCUMENTO</th> <th style="width: 15%;">REV.</th> <th style="width: 15%;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">3 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	3 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	3 di 120								

## INDICE

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Riferimenti Normativi .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Proprietà dei materiali.....</b>	<b>7</b>
3.1 Calcestruzzo C25/30 - fondazioni (ex. § 4.1.2 NTC 18).....	7
3.2 Acciaio per barre d'armatura B450C (ex. § 11.3.2 NTC 18 ) .....	7
3.3 Acciaio S355J0 (ex. § 4.2.1.1 NTC 18) .....	8
3.4 Bulloni (ex. § 11.3.4.6 NTC 08) .....	9
<b>4. Analisi delle sezioni.....</b>	<b>10</b>
4.1 HEB260 .....	10
4.2 HEB120 .....	11
<b>5. Carichi.....</b>	<b>12</b>
5.1 Carico neve (Q <sub>1</sub> ) (ex. § 3.4 N.T.C.18).....	13
5.2 Carico vento (Q <sub>3</sub> ) (ex. § 3.3 N.T.C.18).....	14
5.3 Azione della temperatura (Q <sub>4</sub> ) (ex. § 3.5.5 N.T.C.18) .....	16
5.4 Carico da manutenzione.....	17
5.5 Azione sismica.....	18
5.5.1 Determinazione manuale dei torcenti sismici convenzionali di piano (ex. § 7.2.6 NTC '18).....	26
5.6 Combinazione dei carichi.....	29
<b>6. Modello di calcolo.....</b>	<b>32</b>
<b>7. Analisi dinamica.....</b>	<b>33</b>
<b>8. Verifiche di resistenza - carpenteria metallica.....</b>	<b>35</b>
8.1 Profilo HEB 260 .....	35
8.1.1 Verifica di instabilità.....	37
8.2 Profilo HEB 120 .....	39
<b>9. Verifiche di deformazione verticale .....</b>	<b>41</b>
<b>10. Verifica delle connessioni .....</b>	<b>44</b>
10.1 Connessione Pilastro-trave (tipo 1).....	44
10.1.1 Verifica dell'unione bullonata.....	45
10.1.2 Verifica del piatto .....	46
10.2 Connessione Pilastro-trave (tipo 2).....	47
10.3 Verifica della connessione Trave Principale - Trave secondaria .....	49
10.3.1 Verifica dell'unione bullonata.....	50
10.4 Verifica della connessione in fondazione .....	51
10.4.1 Verifica della carpenteria metallica.....	52
10.4.2 Verifica dei tirafondi.....	53
<b>11. Verifica delle fondazioni- modello Brignole 1 .....</b>	<b>56</b>

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

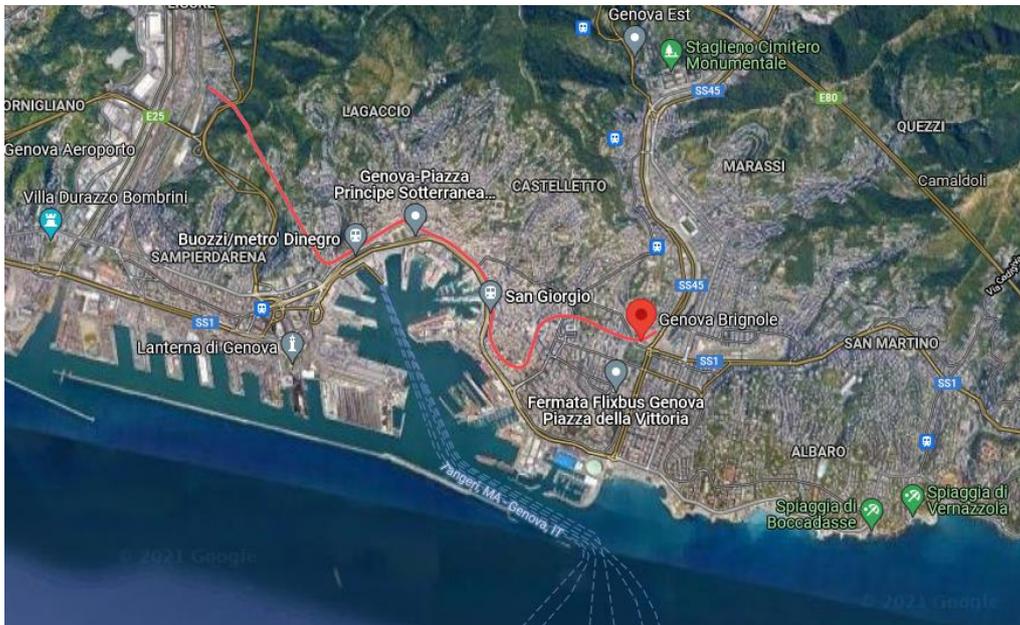
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	4 di 120

11.1	CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO .....	57
11.2	Modello di Calcolo della Fondazione con Winkler .....	57
11.2.1	Calcolo della costante elastica di Winkler.....	58
11.3	Confronto tra modello con fondazione rigida e flessibile .....	62
11.4	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	64
11.4.1	Verifiche di Resistenza Geotecnica (A1+M1+R3) .....	64
11.4.2	Verifica della fondazione .....	76
11.4.3	Verifica Soletta di fondazione .....	82
11.5	Analisi conclusive in merito alla verifica delle fondazioni.....	86
<b>12.</b>	<b>Verifica delle fondazioni- modello Brignole 2 .....</b>	<b>87</b>
12.1	CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO .....	88
12.2	Modello di Calcolo della Fondazione con Winkler .....	88
12.2.1	Calcolo della costante elastica di Winkler.....	89
12.3	Confronto tra modello con fondazione rigida e flessibile .....	93
12.4	VERIFICHE DI RESISTENZA .....	95
12.4.1	Verifiche di Resistenza Geotecnica (A1+M1+R3) .....	95
12.4.2	Verifica della fondazione .....	107
12.4.3	Verifica Soletta di fondazione .....	114
12.5	Analisi conclusive in merito alla verifica delle fondazioni.....	120

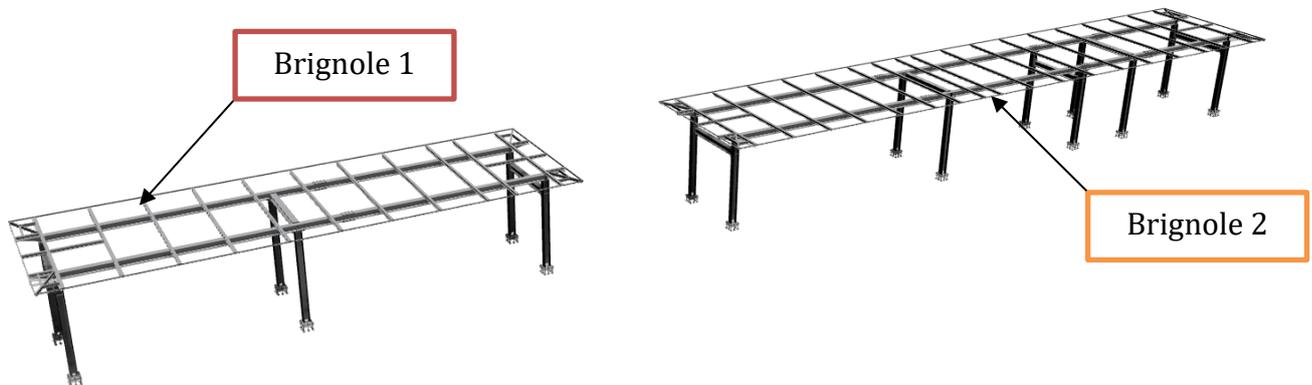
	<p align="center"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b></p>												
<p><b>NOME DOCUMENTO</b>          AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -          STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>5 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	5 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	5 di 120								

## 1. Introduzione

La presente relazione di calcolo riporta le verifiche strutturali relative al nuovo capolinea degli autobus da realizzarsi a Genova, zona Campi. Le due strutture di nuova realizzazione si compongono di profili metallici che realizzano la parte in elevazione, collegati tra loro da giunti sia saldati sia realizzati da bulloni.



**Figura 1** Geolocalizzazione - vista in pianta



**Figura 2** Vista 3d della carpenteria metallica

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>6 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	6 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	6 di 120								

## 2. Riferimenti Normativi

Nella stesura dei calcoli e nella redazione degli elaborati progettuali si è fatto riferimento alle Leggi ed alle Norme tecniche vigenti di seguito riportate:

- **D.M. 17.01.2018 [NTC 18]**

“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 decreto ministeriale 17 Gennaio 2018.

- **CNR-DT 207/2008**

“Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”

- **UNI-EN 1090-1 2013**

“Esecuzione delle strutture in acciaio e di alluminio. Parte1: requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali”.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>7 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	7 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	7 di 120								

### 3. Proprietà dei materiali

#### 3.1 Calcestruzzo C25/30 - fondazioni (ex. § 4.1.2 NTC 18)

$E = 31476 [MPa]$  : modulo di elasticità

$\mu = 0.2$  : rapporto di Poisson

$\gamma = 25 [KN / m^3]$  : peso specifico

$\alpha = 1.0 \cdot 10^{-5} [1/^\circ C]$  : coefficiente di dilatazione termica

$f_{bk} = 4.04 [MPa]$  : resistenza di caratteristica di aderenza

$f_{cd} = 14.2 [MPa]$  : resistenza di calcolo a compressione del cls

$f_{ctd} = 1.2 [MPa]$  : resistenza di calcolo a trazione del cls

#### 3.2 Acciaio per barre d'armatura B450C (ex. § 11.3.2 NTC 18)

$E = 210000 [MPa]$  : modulo di elasticità

$f_{nom} = 540 [MPa]$  : tensione nominale a carico massimo

$f_{ynom} = 450 [MPa]$  : tensione nominale di snervamento

$f_{yd} = 390 [MPa]$  : resistenza di calcolo dell'acciaio

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">8 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	8 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	8 di 120								

### 3.3 Acciaio S355J0 (ex. § 4.2.1.1 NTC 18)

$E = 210000 [MPa]$  : modulo di elasticità

$\mu = 0.33$  : rapporto di Poisson

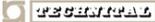
$\gamma = 80 [KN / m^3]$  : peso specifico

$\alpha = 1.2 \cdot 10^{-5} [1/^\circ C]$  : coefficiente di dilatazione termica

$f_{tk} = 510 [MPa]$  : tensione di rottura

$f_{yk} = 355 [MPa]$  : tensione caratteristica di snervamento

$f_{ywd} = 338 [MPa]$  : resistenza di progetto dell'acciaio

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE    ARCHITETTI ASSOCIATI	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>9 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	9 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	9 di 120								

### 3.4 Bulloni (ex. § 11.3.4.6 NTC 08)

CLASSE DI RESISTENZA: 8.8

$f_{yb} = 640 [MPa]$  : tensione di snervamento

$f_{ub} = 800 [MPa]$  : tensione di rottura

In accordo con le NTC'18, le resistenze a taglio e trazione si determinano come segue.

Resistenza a taglio:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_{res}}{\gamma_{Mb}}$$

La resistenza a trazione:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_{res}}{\gamma_{Mb}}$$

Bullone	Fvrd [kN]	Ftrd [kN]
M16	50.2	90
M24	135	203

**Tabella 1** Valori di resistenza bulloni

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

FA4700106

REV.

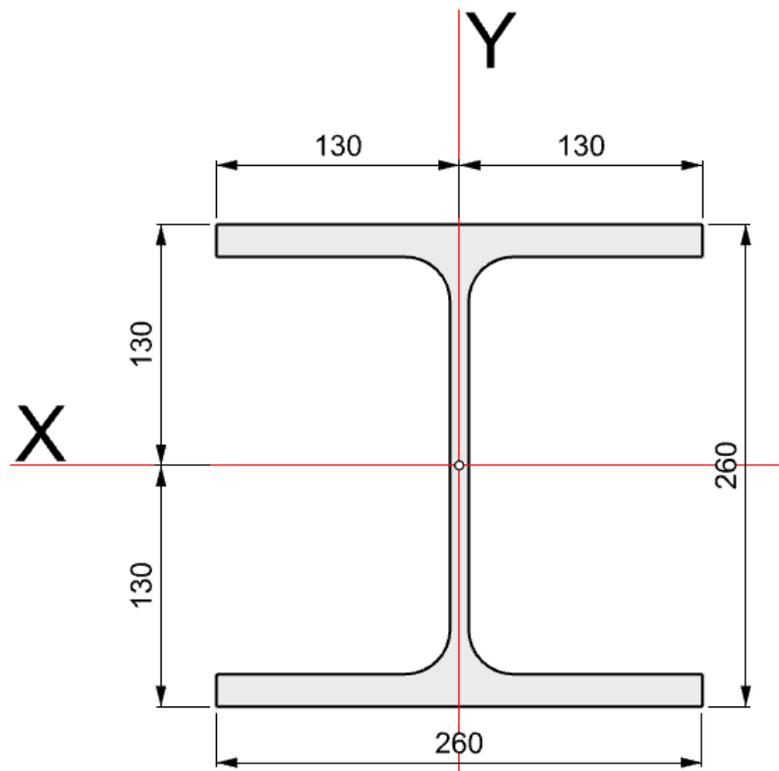
B

FOGLIO

10 di 120

## 4. Analisi delle sezioni

### 4.1 HEB260



HEB 260			
Parametri		Unità	
Area	A	118	cm <sup>2</sup>
Inerzia	J <sub>x</sub>	14919	cm <sup>4</sup>
	y <sub>max</sub>	13	cm
Modulo di resistenza	W <sub>x</sub>	1147	cm <sup>3</sup>
Inerzia	J <sub>y</sub>	5134	cm <sup>4</sup>
	x <sub>max</sub>	13	cm
Modulo di resistenza	W <sub>y</sub>	394	cm <sup>3</sup>

Tabella 2 Parametri geometrici HEB 260

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

FA4700106

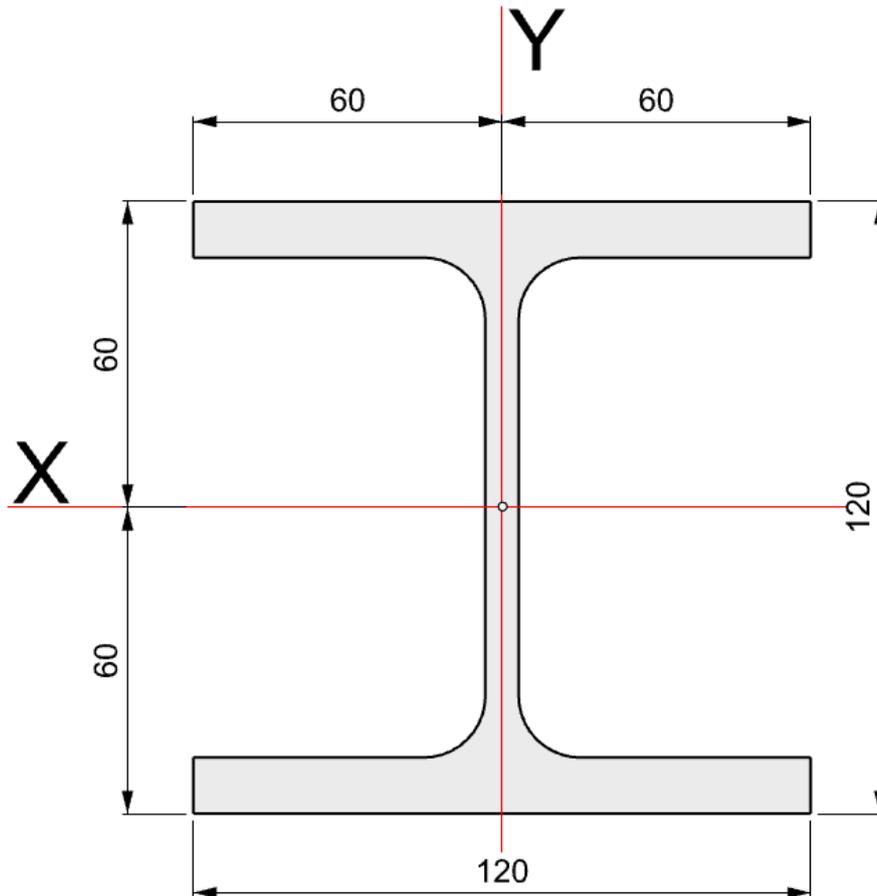
REV.

B

FOGLIO

11 di 120

## 4.2 HEB120



HEB 120			
Parametri		Unità	
Area	A	34	cm <sup>2</sup>
Inerzia	J <sub>x</sub>	864	cm <sup>4</sup>
	y <sub>max</sub>	6	cm
Modulo di resistenza	W <sub>x</sub>	144	cm <sup>3</sup>
Inerzia	J <sub>y</sub>	317	cm <sup>4</sup>
	x <sub>max</sub>	6	cm
Modulo di resistenza	W <sub>y</sub>	52.8	cm <sup>3</sup>

Tabella 3 Parametri geometrici HEB 120

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>12 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	12 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	12 di 120								

## 5. Carichi

Peso proprio degli elementi componenti la struttura (G1):

- Calcestruzzo armato = 25.0 [kN/m<sup>3</sup>];
- Elementi in acciaio = 78.5 [kN/m<sup>3</sup>].

Peso proprio degli elementi non strutturali (G2):

- Carico permanente portato (Copertura) **G2 = 0.50 [kN/m<sup>2</sup>]** così suddiviso:

Strati	carico
Pannello composito e sottostruttura [interno]	0.10 [kN / m <sup>2</sup> ]
Lamiera Grecata	0.08 [kN / m <sup>2</sup> ]
Tavolato	0.22 [kN / m <sup>2</sup> ]
Pannello composito e sottostruttura [esterno]	0.10 [kN / m <sup>2</sup> ]

Per i carichi variabili si rimanda ai paragrafi seguenti.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">13 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	13 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	13 di 120								

### 5.1 Carico neve ( $Q_1$ ) (ex. § 3.4 N.T.C.18)

Il carico dovuto alla neve sulle coperture viene valutato secondo Normativa dalla seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

Dove:

- $q_s$  è il carico neve sulla copertura;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura, nel caso in oggetto pari a 0.8;
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo, pari a 1.0kN/m<sup>2</sup> per la zona di Genova;
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione, posto pari ad 1;
- $C_t$  è il coefficiente termico, posto pari ad 1.

Il carico provocato dalla neve risulta pertanto essere pari a  $q_s = 0.80[kN/m^2]$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">14 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	14 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	14 di 120								

## 5.2 Carico vento ( $Q_3$ ) (ex. § 3.3 N.T.C.18)

La pressione del vento è data dalla seguente espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Considerando come D la classe di rugosità del terreno, si determina una categoria II di esposizione del sito.

<b>Zona 7</b>	$v_{b,0} = 28 [m/s]$	$a_0 = 1000 [m]$	$k_a = 0.54 [1/s]$
<b>Categoria sito II</b>	$k_r = 0.19$	$z_0 = 0.05 [m]$	$z_{\min} = 4 [m]$

**Tabella 4** Parametri modellazione azione del vento

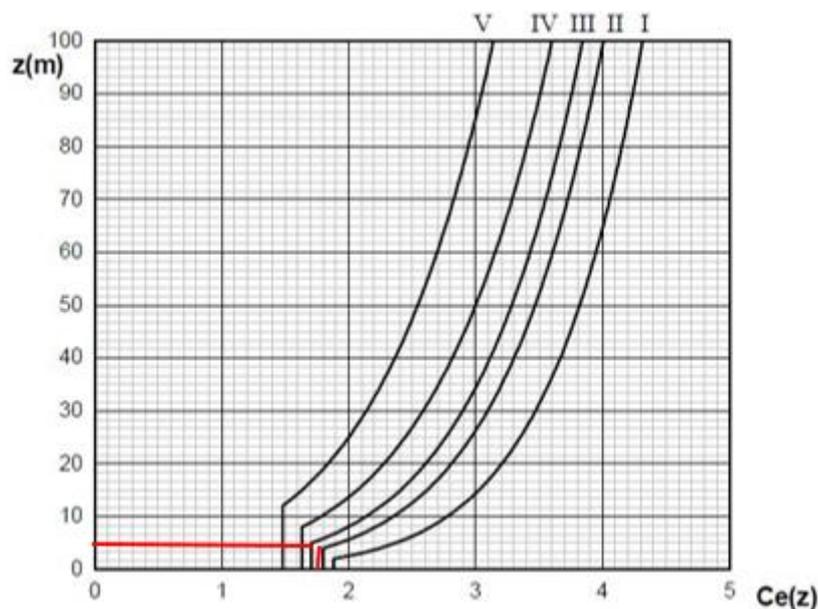
Dati questi parametri di input, si determinano i coefficienti dell'espressione vista sopra.

- $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento, pari a  $q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 50 [kg/m^2]$

dove:

- $\rho$  è la densità dell'aria assunta pari a 1.25 kg/mc;
- $v_b$  è la velocità di riferimento del vento, pari a 28m/s

- $c_e$  è il coefficiente di esposizione, pari a  $c_e(z) = c_e(z_{\min}) = 1.8$  [determinabile graficamente dall'immagine sottostante]



**Figura 3** Coefficiente di esposizione

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z3	CODIFICA RH	DOCUMENTO FA4700106	REV. B	FOGLIO 15 di 120

La pressione del vento che si determina è pertanto pari a:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 0.9 [kN / m^2]$$

Il comportamento aerodinamico degli edifici e in particolare delle tettoie a semplice falda, viene analizzato in accordo con il paragrafo G.6.1 (CNR-DT207-2008). La tabella sottostante riporta i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a semplice falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo.

**Tabella G.XII – Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda ( $\alpha$  in  $^\circ$ ).**

Valori positivi	Tutti i valori di $\varphi$	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
Valori negativi	$\varphi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30$
	$\varphi = 1$	$c_F = -1,4$

**Tabella 5** Coefficienti di forza

Il grado di bloccaggio ' $\varphi$ ' è assunto pari a 0.5. Con buona approssimazione si può infatti affermare come metà del volume al di sotto della pensilina sia ostruito da box, mentre l'altra metà sia libera.



**Figura 4** Prospetto architettonico

Pertanto, per valori di  $\varphi$  compresi tra 0 ed 1 è ammessa un'interpolazione lineare.

$$c_f(0) = -0.5$$

$$c_f(1) = -1.4$$

$$c_f(0.5) = -0.95$$

[coefficiente di forza negativo]

$$c_f(0.5) = +0.2$$

[coefficiente di forza positivo]

**NOME DOCUMENTO**  
 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	16 di 120

Il carico vento sulla tettoia è da applicarsi con distribuzione lineare, la cui risultante è come riportato nella figura sottostante.

Per il calcolo della tettoia si considerano le condizioni di carico più gravose tra le quattro indicate nella Figura G.27, dove la forza risultante  $F = q_p(\bar{z}) \cdot L^2 \cdot c_F$  (Eqq. 3.13a,b,c) è applicata sopravento ad una distanza pari a  $d/4$  dal bordo investito dal flusso.

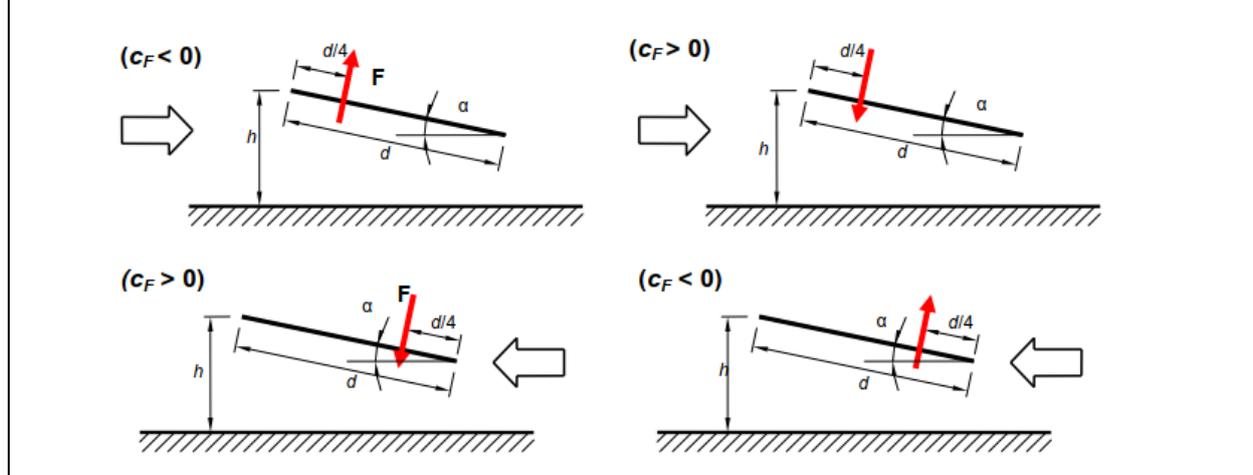


Figura 5 Applicazione carichi

$$q^- = p \cdot c_f^- = 0.85 [kN / m^2]$$

$$q^+ = p \cdot c_f^+ = 0.18 [kN / m^2]$$

### 5.3 Azione della temperatura (Q<sub>4</sub>) (ex. § 3.5.5 N.T.C.18)

Per la struttura in oggetto si considera una componente di  $\Delta T$  come azione sollecitante. Il valore viene assunto basandosi sulla tabella qui sotto riportata.

Tab. 3.5.II – Valori di  $\Delta T_u$  per gli edifici

Tipo di struttura	$\Delta T_u$
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Tabella 6 Valori di  $\Delta T$

$$\Delta T = \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>17 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	17 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	17 di 120								

#### 5.4 Carico da manutenzione

In accordo con le NTC '18 (tabella 3.1.II) si assume un carico da manutenzione uniformemente distribuito pari a:

$$q(M) = 0.50[kN / m^2]$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">18 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	18 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	18 di 120								

## 5.5 Azione sismica

L'opera oggetto di studio è situata a Genova. Di seguito si riportano i dati utilizzati ed i risultati ottenuti per l'elaborazione degli spettri di risposta, calcolati in direzione orizzontale e verticale per lo stato limite di danno (SLD) e per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

- VITA NOMINALE DELL'OPERA, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO (ex. § 2.4 N.T.C.)

$V_N \geq 50$  anni : Vita nominale di opere ordinarie.

Classe II : Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti (come definito al paragrafo 2.4.2 delle NTC '18);

$V_R$  : Periodo di riferimento.

$C_U$  : Coefficiente d'uso.

Classe II  $\Rightarrow C_U = 1.0$

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.0 = 50 [\text{anni}]$$

- VALORI DI  $a_g, F_0, T_C^*$  PER PERIODO DI RITORNO  $T_R$

$a_g$  : Accelerazione orizzontale attesa massima al suolo

$F_0$  : Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di acc. orizzontale

$T_C^*$  : Periodo di inizio del tratto a velocità cost. dello spettro di acc. orizzontale

$P_{VR}$  : Probabilità di superamento

$T_R$  : Periodo di ritorno

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
	Stati limite di esercizio	SLO
SLD		63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 7** Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato (ex. § 3.2.1 NTC 18).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>19 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	19 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	19 di 120								

- CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (ex. § 3.2.2 N.T.C.)

Categoria “C”

Categoria topografica “T1” : superficie pianeggiante

- VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA – SPETTRI DI RISPOSTA

Gli spettri di risposta considerati nel calcolo sono stati ottenuti con il programma di calcolo fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Tale programma permette di ottenere gli spettri di risposta orizzontali e verticali per ogni tipo di stato limite. Per l’opera in oggetto è stato considerato lo stato limite di danno (SLD) e di salvaguardia della vita (SLV).

Parametri considerati (ex. § 3.2.3 NTC 18):

$\xi = 5\%$  : Smorzamento  
 $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} = \sqrt{10/(5+5)} = 1$  : Fattore di alterazione dello spettro  
 $q$  : Fattore di comportamento

- **Procedimento di calcolo del fattore di comportamento  $q$  (ex. § 7.3 NTC 18):**

**L’intera struttura viene assunta a carattere strutturale NON DISSIPATIVO.**

In accordo con quanto definito con il paragrafo 7.3 delle Norme Tecniche vigenti, per gli stati limite SLD ed SLV il limite massimo del fattore di comportamento è pari a 1.5. Per lo stato limite SLO il limite è 1.0.

**A favore di sicurezza, si assume un fattore di sicurezza unitario.**

Il sisma è stato introdotto nel modello agli elementi finiti nelle tre direzioni principali  $x$ ,  $y$  e  $z$  secondo i seguenti spettri di risposta. Tali spettri sono poi moltiplicati nel modello di calcolo per l’accelerazione di gravità “ $g$ ”.

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

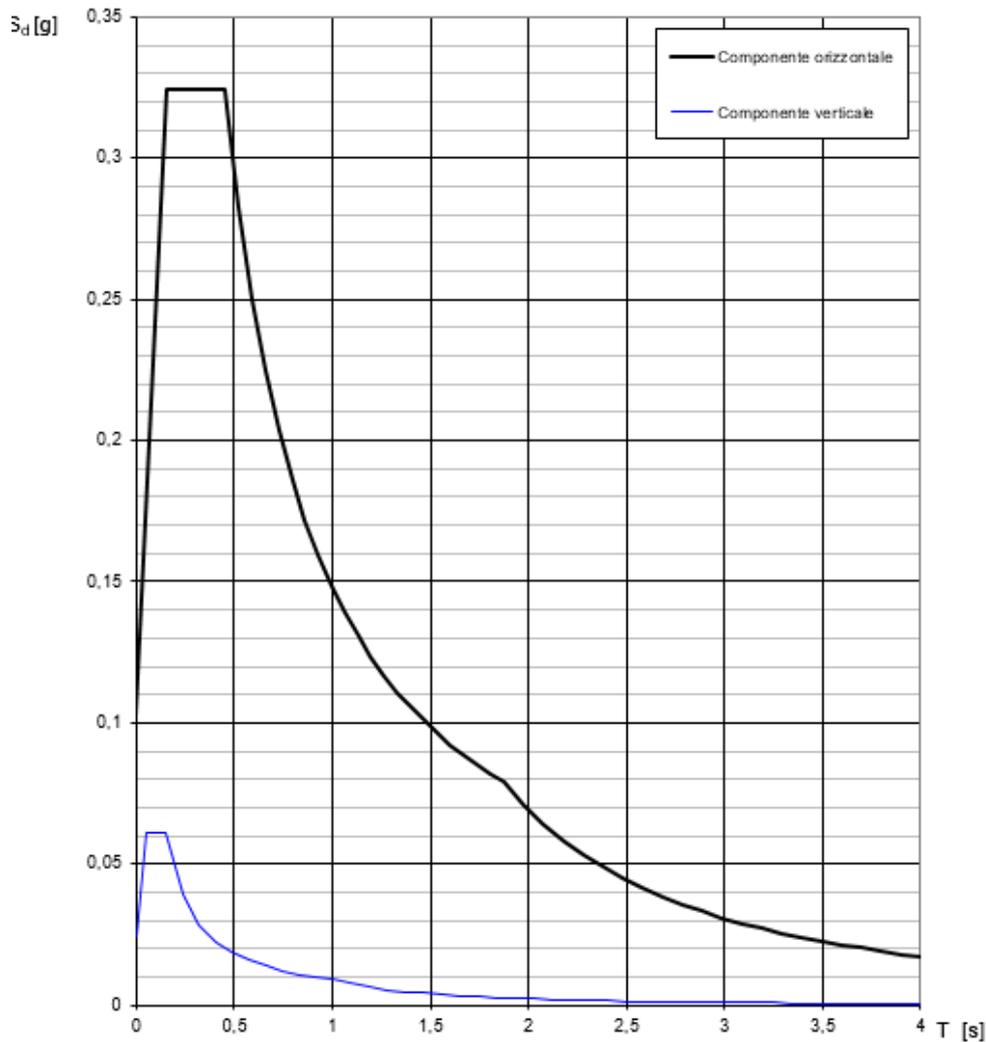
FA4700106

B

20 di 120

**SPETTRI DI RISPOSTA**

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



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Tabella 8** Spettro di risposta elastico orizzontale e verticale – SLV

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

FA4700106

B

21 di 120

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,068 g
$F_0$	2,536
$T_C$	0,287 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,585
$S_T$	1,000
$q$	0,800

**Parametri dipendenti**

$S$	1,500
$\eta$	1,250
$T_B$	0,152 s
$T_C$	0,455 s
$T_D$	1,873 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,102
$T_B$	0,152	0,325
$T_C$	0,455	0,325
	0,523	0,283
	0,590	0,250
	0,658	0,225
	0,725	0,204
	0,793	0,186
	0,860	0,172
	0,928	0,159
	0,995	0,148
	1,063	0,139
	1,130	0,131
	1,198	0,123
	1,265	0,117
	1,333	0,111
	1,400	0,105
	1,468	0,101
	1,535	0,096
	1,603	0,092
	1,671	0,088
	1,738	0,085
	1,806	0,082
$T_D$	1,873	0,079
	1,974	0,071
	2,076	0,064
	2,177	0,058
	2,278	0,053
	2,380	0,049
	2,481	0,045
	2,582	0,042
	2,683	0,038
	2,785	0,036
	2,886	0,033
	2,987	0,031
	3,088	0,029
	3,190	0,027
	3,291	0,026
	3,392	0,024
	3,494	0,023
	3,595	0,021
	3,696	0,020
	3,797	0,019
	3,899	0,018
	4,000	0,017

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

**Tabella 9** Parametri spettro di risposta elastico orizzontale - SLV

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

FA4700106

B

22 di 120

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato lin\$LV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{SLV}$	0,024 g
$S_S$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,000
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0,835
$S$	1,000
$\eta$	1,000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,024
$T_B \leftarrow$	0,050	0,061
$T_C \leftarrow$	0,150	0,061
	0,235	0,039
	0,320	0,029
	0,405	0,023
	0,490	0,019
	0,575	0,016
	0,660	0,014
	0,745	0,012
	0,830	0,011
	0,915	0,010
$T_D \leftarrow$	1,000	0,009
	1,094	0,008
	1,188	0,006
	1,281	0,006
	1,375	0,005
	1,469	0,004
	1,563	0,004
	1,656	0,003
	1,750	0,003
	1,844	0,003
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,002
	2,313	0,002
	2,406	0,002
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

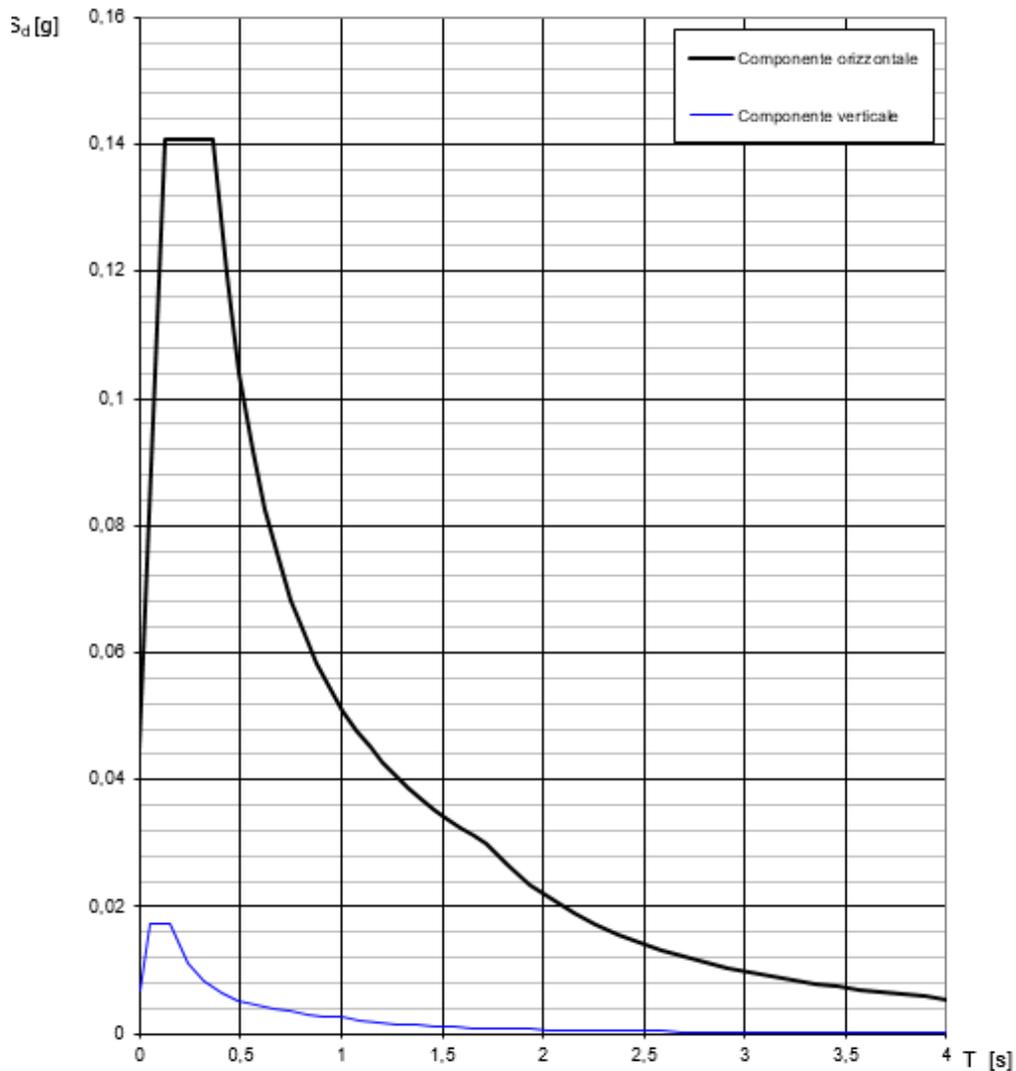
FA4700106

B

23 di 120

**Tabella 10** Parametri spettro di risposta elastico verticale – SLV

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



La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

**Figura 6** Spettro di risposta elastico orizzontale – SLD

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

FA4700106

B

24 di 120

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLD**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,030 g
$F_0$	2,525
$T_C$	0,207 s
$S_s$	1,500
$C_C$	1,767
$S_T$	1,000
$q$	0,800

**Parametri dipendenti**

$S$	1,500
$\eta$	1,250
$T_B$	0,122 s
$T_C$	0,365 s
$T_D$	1,719 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,045
$T_B \leftarrow$	0,122	0,141
$T_C \leftarrow$	0,365	0,141
	0,430	0,120
	0,494	0,104
	0,559	0,092
	0,623	0,082
	0,687	0,075
	0,752	0,068
	0,816	0,063
	0,881	0,058
	0,945	0,054
	1,010	0,051
	1,074	0,048
	1,139	0,045
	1,203	0,043
	1,268	0,041
	1,332	0,039
	1,397	0,037
	1,461	0,035
	1,526	0,034
	1,590	0,032
	1,654	0,031
$T_D \leftarrow$	1,719	0,030
	1,828	0,026
	1,936	0,024
	2,045	0,021
	2,153	0,019
	2,262	0,017
	2,371	0,016
	2,479	0,014
	2,588	0,013
	2,697	0,012
	2,805	0,011
	2,914	0,010
	3,022	0,010
	3,131	0,009
	3,240	0,008
	3,348	0,008
	3,457	0,007
	3,566	0,007
	3,674	0,007
	3,783	0,006
	3,891	0,006
	4,000	0,006

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dell

**Tabella 11** Parametri spettro di risposta elastico orizzontale – SLD

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

FA4700106

B

25 di 120

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato lirSLD**
**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{gv}$	0,007 g
$S_a$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,000
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0,588
$S$	1,000
$\eta$	1,000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_a \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_{gv}}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,007
$T_B$	0,050	0,017
$T_C$	0,150	0,017
	0,235	0,011
	0,320	0,008
	0,405	0,006
	0,490	0,005
	0,575	0,005
	0,660	0,004
	0,745	0,004
	0,830	0,003
	0,915	0,003
$T_D$	1,000	0,003
	1,094	0,002
	1,188	0,002
	1,281	0,002
	1,375	0,001
	1,469	0,001
	1,563	0,001
	1,656	0,001
	1,750	0,001
	1,844	0,001
	1,938	0,001
	2,031	0,001
	2,125	0,001
	2,219	0,001
	2,313	0,000
	2,406	0,000
	2,500	0,000
	2,594	0,000
	2,688	0,000
	2,781	0,000
	2,875	0,000
	2,969	0,000
	3,063	0,000
	3,156	0,000
	3,250	0,000
	3,344	0,000
	3,438	0,000
	3,531	0,000
	3,625	0,000
	3,719	0,000
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Tabella 12** Parametri spettro di risposta elastico verticale – SLD

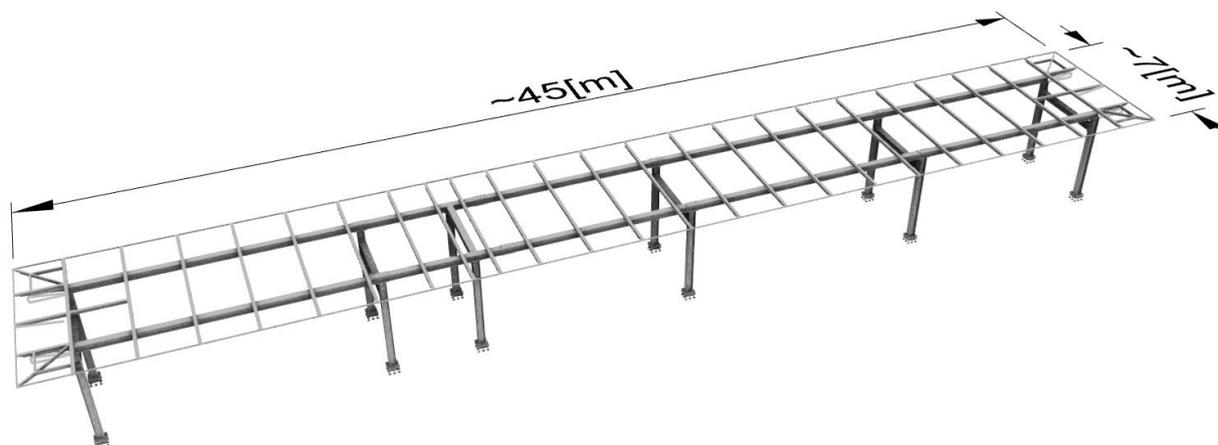
	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>26 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	26 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	26 di 120								

### 5.5.1 *Determinazione manuale dei torcenti sismici convenzionali di piano (ex. § 7.2.6 NTC '18)*

Le attuali Norme Tecniche per le costruzioni, al paragrafo 7.2.6, richiedono di attribuire un'eccentricità accidentale al baricentro delle masse rispetto alla sua posizione originale, in modo da tener conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella distribuzione delle masse. Questa eccentricità nella normativa viene assunta convenzionalmente pari al 5% della dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione del sisma.

Le combinazioni con eccentricità accidentale vengono prese in considerazione aggiungendo un equivalente momento torcente di piano: questo viene determinato come il prodotto tra le forze statiche di piano e la suddetta eccentricità accidentale. Le forze statiche vengono valutate come forze di inerzia indotte dall'azione sismica, considerando le masse concentrate a livello degli impalcati. Nel modello di calcolo tale azione viene inserita sia con segno positivo sia con segno negativo in modo da massimizzare gli effetti sulla struttura.

Il centro di massa, in ogni direzione considerata, deve essere spostato di una distanza pari al 5% della dimensione dell'edificio in direzione perpendicolare all'azione sismica:



**Figura 7 3d edificio**

$$e_{ax} = \pm 0.05 \cdot 7 = \pm 0.35[m]$$

$$e_{ay} = \pm 0.05 \cdot 45 = \pm 2.25[m]$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">27 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	27 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	27 di 120								

Le forze statiche vengono determinate così come indicato al paragrafo 7.3.3.2 delle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018 (*analisi lineare statica*).

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad \text{Forze statiche di piano;} \quad (\text{ex. } \S 7.3.3.2 \text{ NTC 18})$$

$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda_i / g$  è la forza di taglio alla base relativa al modo considerato;  
 $F_i$  è la forza da applicare alla massa i-esima;  
 $W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j;  
 $z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione, delle masse i e j;

La massa del piano di copertura viene valutata in ambito sismico secondo la seguente formulazione:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

dove i carichi permanenti non sono fattorizzati, mentre il coefficiente  $\psi_{2j}$  vale 0.0 per il carico neve, vento, temperatura e manutenzione.

Considerando un'area in pianta dell'edificio di circa 315m<sup>2</sup>, si valuta la massa sismica per la copertura.

$$w_{\text{Copertura}} = G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \approx 135 + 157 = 292[kN]$$

Impalcato	z (m)	Wi (kN)
Copertura	4.5	292

**Tabella 10** Masse concentrate a livello degli impalcati in elevazione.

Cautelativamente si assume  $S_d(T)$  pari al massimo valore dello spettro di risposta.

### Copertura

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda_i / g = 0.325 \cdot 292 \cdot 1 = 95[kN] \quad \text{:SLV}$$

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda_i / g = 0.141 \cdot 292 \cdot 1 = 42[kN] \quad \text{:SLD}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">28 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	28 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	28 di 120								

**SLV**

Sisma in direzione x		$S_d(T) = 0.325g$	
Impalcato	$F_i$ (kN)	$e_y$ (m)	$M_t = F_i \cdot e_y$ (kNm)
Copertura	95	$\pm 2.25$	213

Sisma in direzione y		$S_d(T) = 0.507g$	
Impalcato	$F_i$ (kN)	$e_x$ (m)	$M_t = F_i \cdot e_y$ (kNm)
copertura	95	$\pm 2.25$	215

**Tabella 11** Momenti torcenti di piano equivalenti ad un'eccentricità del 5% per le combinazioni allo SLV.

**SLD**

Sisma in direzione x		$S_d(T) = 0.141g$	
Impalcato	$F_i$ (kN)	$e_y$ (m)	$M_t = F_i \cdot e_y$ (kNm)
Copertura	42	$\pm 0.35$	14.7

Sisma in direzione y		$S_d(T) = 0.199g$	
Impalcato	$F_i$ (kN)	$e_x$ (m)	$M_t = F_i \cdot e_y$ (kNm)
copertura	42	$\pm 0.35$	14.7

**Tabella 11** Momenti torcenti di piano equivalenti ad un'eccentricità del 5% per le combinazioni allo SLD.

I momenti torcenti determinati vengono applicati alla copertura della struttura e combinati con le altre azioni in gioco come definito nel capitolo seguente.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">29 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	29 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	29 di 120								

## 5.6 Combinazione dei carichi

Ai fini delle verifiche degli stati limite i carichi sopra citati sono stati combinati nel seguente modo (ex. § 2.5.3 NTC 18):

- Combinazione quasi permanente (SLE):

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{Kj}$$

- Combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_Q \cdot \left[ Q_{K1} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} \cdot Q_{Kj} \right]$$

- Combinazione caratteristica rara (SLE):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \left( \sum_{j=2}^n \psi_{0j} \cdot Q_{Kj} \right)$$

- Combinazione sismica (SLD - SLV):

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{Kj}$$

dove:  $G_1$  = carico permanente strutturale (peso proprio struttura)

$G_2$  = carico permanente non strutturale

$Q_{Kj}$  = carico variabile:  $Q_{K1}$  = carico variabile primario

$Q_{K2}; Q_{K3}; \dots$  = carichi variabili secondari

$E$  = azione sismica

$\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}; \gamma_P$  = coefficienti parziali di sicurezza (ex. § 2.6.1 NTC 18)

$\psi_{0j}; \psi_{1j}; \psi_{2j}$  = coefficienti di combinazione (ex. § 2.5.2 NTC 18)

- Coefficienti parziali per i carichi di esercizio:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">30 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	30 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	30 di 120								

- $\gamma_{G1} = 1.3$  : coefficiente per i carichi permanenti strutturali  
 $\gamma_{G2} = 1.5$  : coefficiente per i carichi permanenti non strutturali  
 $\gamma_{Qi} = 1.5$  : coefficiente per i carichi variabili - SLU

- coefficiente per i carichi variabili  $\psi_i$  :

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\psi_0$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 13 Valori dei coefficienti di combinazione

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>31 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	31 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	31 di 120								

COMBINAZIONI	G1	G2	Q1 <sub>neve</sub>	Q2 <sub>man.</sub>	Q3 <sub>vento</sub>	Q4 <sub>ΔT</sub>	EX	EY	EZ	Mt(+/-)
Comb. 1 - SLU <sub>NEVE</sub>	1.3	1.5	1.5	0.0	0.9	0.9	/	/	/	/
Comb. 2 - SLU <sub>MANUTENZIONE</sub>	1.3	1.5	0.75	1.5	0.9	0.9	/	/	/	/
Comb. 3 - SLU <sub>VENTO</sub>	1.3	1.5	0.75	0.0	1.5	0.9	/	/	/	/
Comb. 4 - SLU <sub>ΔT</sub>	1.3	1.5	0.75	0.0	0.9	1.5	/	/	/	/
Comb. 5 - SLE <sub>NEVE</sub>	1.0	1.0	1.0	0.0	0.6	0.6	/	/	/	/
Comb. 6 - SLE <sub>MANUTENZIONE</sub>	1.0	1.0	0.5	1.0	0.6	0.6	/	/	/	/
Comb. 7 - SLE <sub>VENTO</sub>	1.0	1.0	0.5	0.0	1.0	0.6	/	/	/	/
Comb.8 - SLE <sub>ΔT</sub>	1.0	1.0	0.5	0.0	0.6	1.0	/	/	/	/
Comb. 9 - Quasi perm.	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	/	/	/	/
Comb. 10 - SLV X + ecc <sup>+/-</sup>	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.3	1.0
Comb. 11 - SLV Y + ecc <sup>+/-</sup>	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	1.0
Comb. 12 - SLV Z + ecc <sup>+/-</sup>	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	1.0	1.0
Comb. 13 - SLD X + ecc <sup>+/-</sup>	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.3	1.0
Comb. 14 - SLD Y + ecc <sup>+/-</sup>	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	1.0
Comb. 15 - SLD Z + ecc <sup>+/-</sup>	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	1.0	1.0

**Tabella 14** Combinazioni di carico

Per ottenere un controllo più agevole sui risultati del calcolo sono stati introdotti gli involuipi delle combinazioni esaminate:

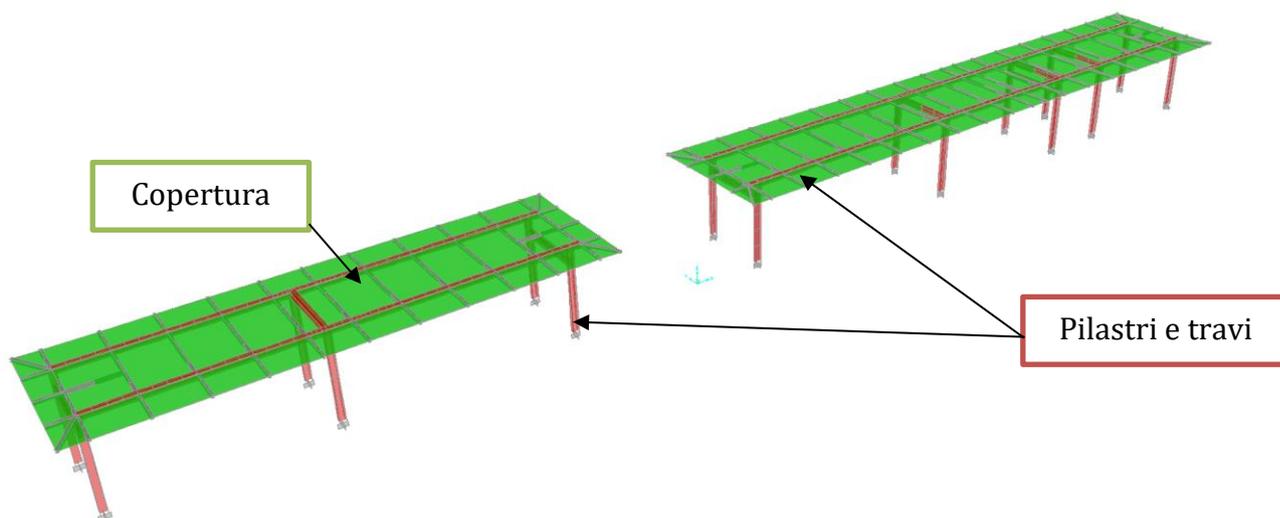
INVILUPPO	COMBINAZIONI
SLU	Comb.1 + Comb.2 + Comb.3 + Comb.4
SLE	Comb.5 + Comb.6 + Comb.7 + Comb.8
SLV	Comb.10 + Comb.11 + Comb.12
SLD	Comb.13 + Comb.14 + Comb.15

**Tabella 15** Involuppo delle combinazioni di carico

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">32 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	32 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	32 di 120								

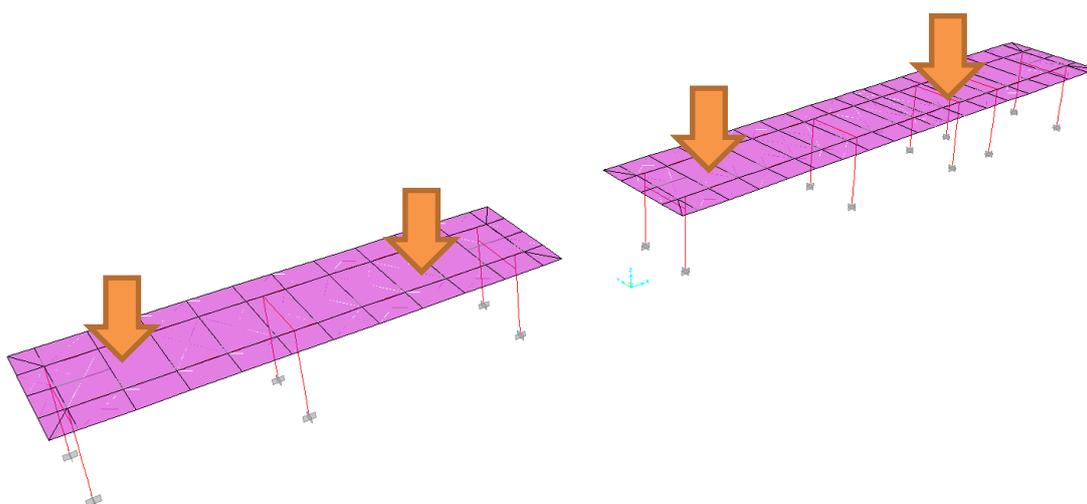
## 6. Modello di calcolo

Il modello di calcolo del capolinea in oggetto è realizzato da elementi tipo 'frame' per simulare le travi e i pilastri in acciaio. Per quanto riguarda la copertura, si adottano elementi tipo 'shell' privi di rigidezza, col solo compito di distribuire in maniera uniforme i carichi in gioco.



**Figura 8** Modello di calcolo carpenteria metallica

Il carico di neve e quello di manutenzione si applicano in maniera uniformemente distribuita sulla copertura, come si evince dall'immagine sottostante.



**Figura 9** Applicazione carico neve e manutenzione

Il carico vento è invece applicato come riportato in Figura 5.

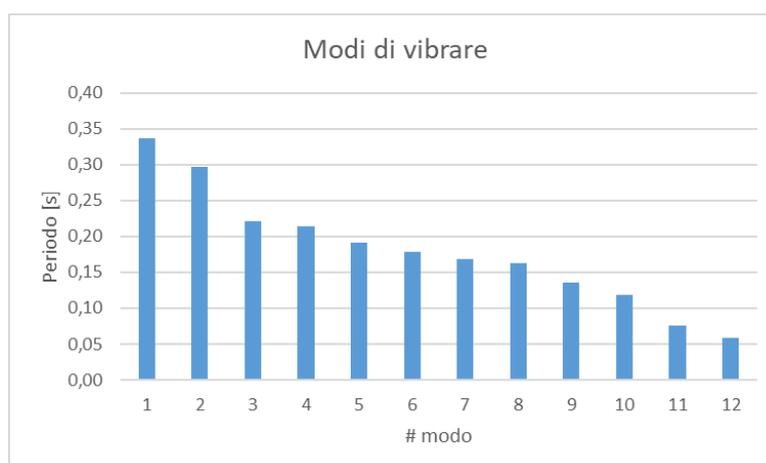
	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>33 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	33 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	33 di 120								

## 7. Analisi dinamica

In prima istanza è necessario valutare il comportamento dinamico della struttura. In accordo con il paragrafo 7.3.3.1 delle NTC'18, l'utilizzo di un'analisi lineare dinamica per la valutazione delle azioni sismiche (analisi modale) richiede di considerare una massa totale partecipante almeno pari all'85% di quella sismica globale. Pertanto, si riportano nel seguito i modi di vibrare della struttura che vengono considerati.

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
N°	[s]	%/100	%/100	%/100	%/100	%/100	%/100
1	0,34	0,00	0,27	0,03	0,0%	27,0%	2,5%
2	0,30	0,00	0,28	0,32	0,0%	55,0%	35,0%
3	0,22	0,00	0,21	0,22	0,0%	76,0%	57,0%
4	0,21	0,00	0,00	0,20	0,0%	77,0%	77,0%
5	0,19	0,40	0,00	0,00	40,0%	77,0%	77,0%
6	0,18	0,37	0,00	0,00	77,0%	77,0%	77,0%
7	0,17	0,16	0,00	0,00	93,0%	77,0%	77,0%
8	0,16	0,00	0,13	0,07	93,0%	89,0%	84,0%
9	0,14	0,00	0,06	0,11	93,0%	95,0%	95,0%
10	0,12	0,00	0,00	0,00	93,0%	95,0%	95,0%
11	0,08	0,01	0,00	0,00	94,0%	95,0%	95,0%
12	0,06	0,01	0,00	0,00	96,0%	95,0%	95,0%

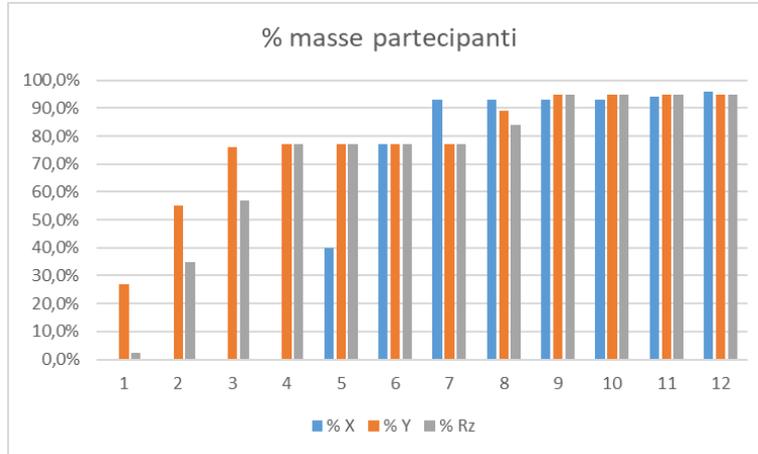
**Tabella 16** Modi di vibrare e percentuale di massa partecipante



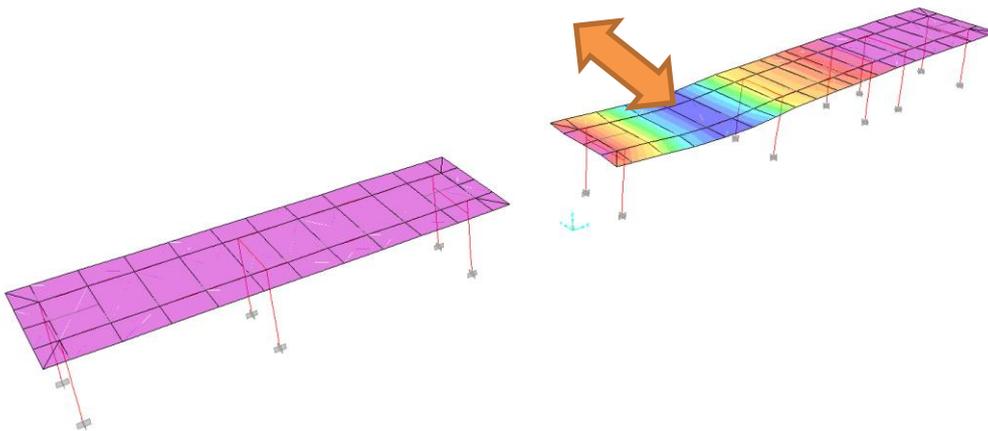
**Tabella 17** Modi di vibrare

**NOME DOCUMENTO**  
AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

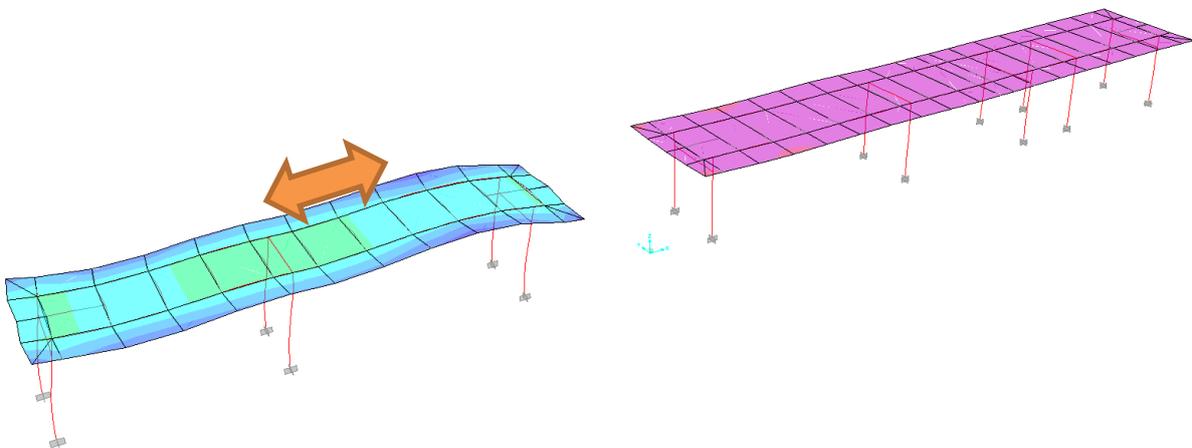
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	34 di 120



**Tabella 18** Percentuali di massa partecipante



**Figura 10** Primo modo di vibrare



**Figura 11** Secondo modo di vibrare

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

RH

FA4700106

B

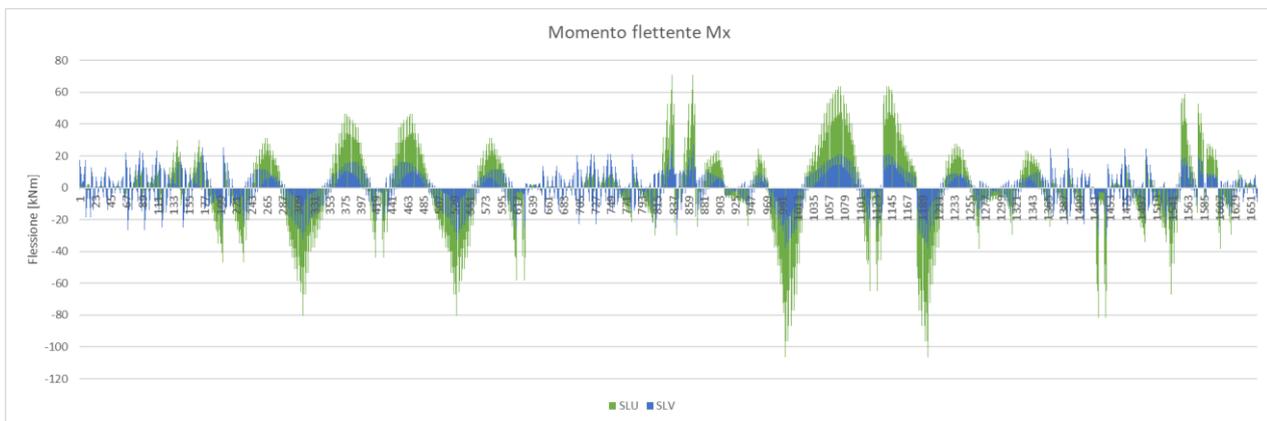
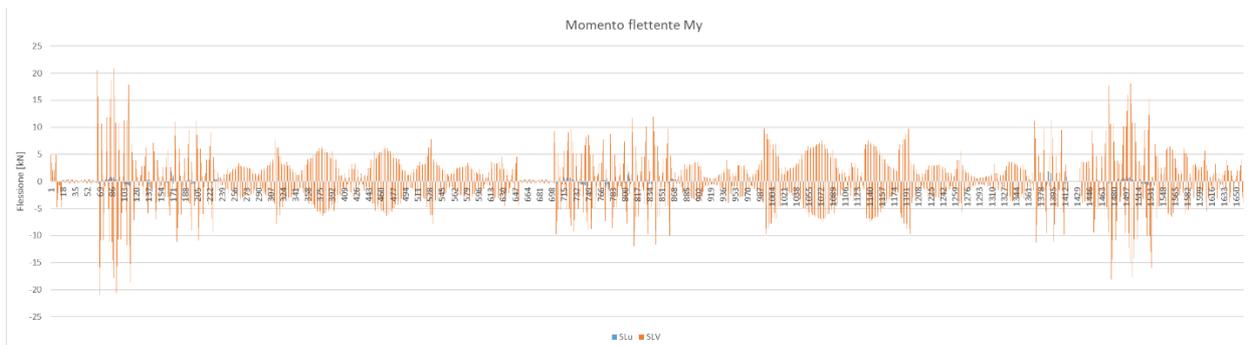
35 di 120

## 8. Verifiche di resistenza – carpenteria metallica

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza di tutti gli elementi strutturali.

### 8.1 Profilo HEB 260

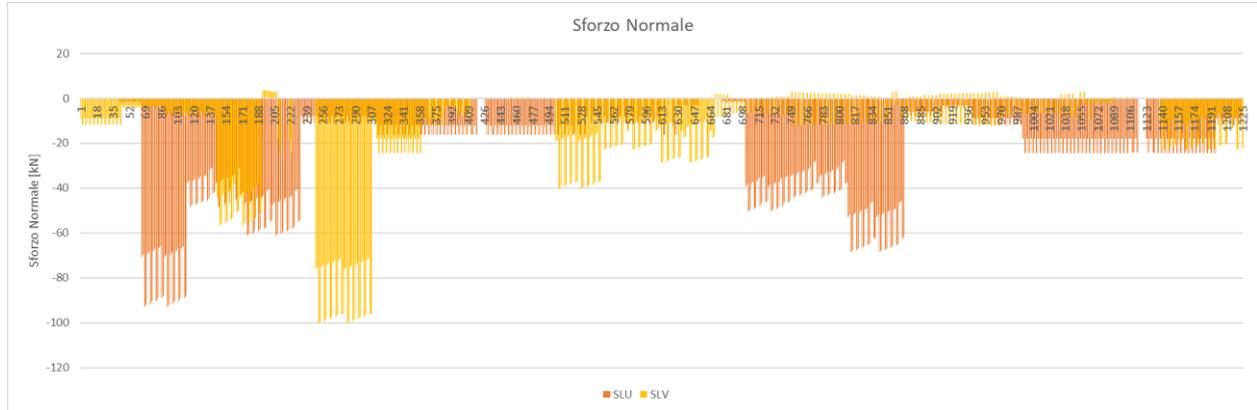
Nelle seguenti tabelle si riportano le sollecitazioni ottenute dall'involuppo delle due combinazioni di carico che si assumono per la verifica dei profili metallici: SLU ed SLV.


**Tabella 19 Flessione Mx**

**Tabella 20 Flessione My**

**NOME DOCUMENTO**

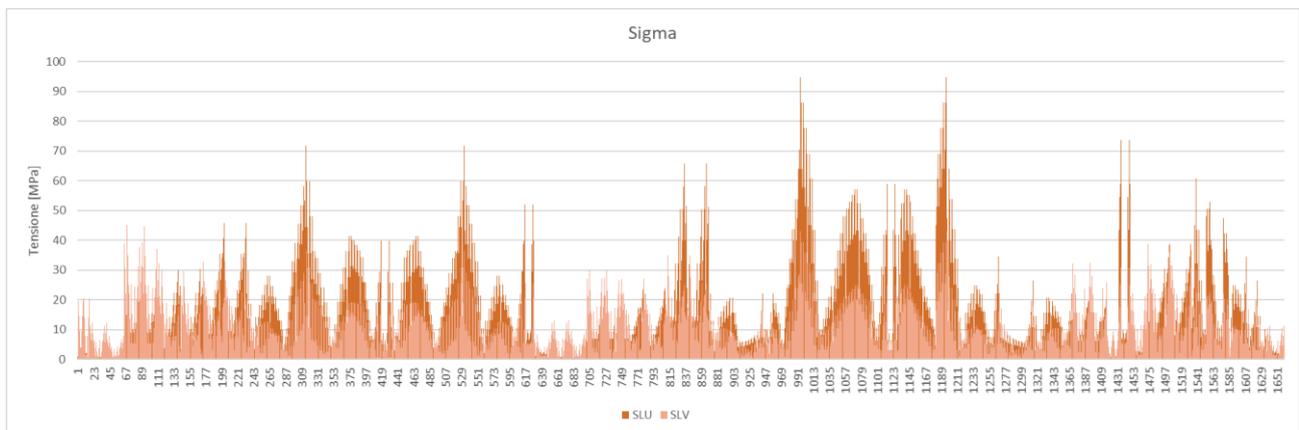
 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	36 di 120

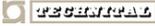

**Tabella 21 Sforzo normale**

Ai fini della verifica dei profili in oggetto, si assume il seguente criterio di verifica.

$$\sigma = \frac{M_x}{w_x} + \frac{M_y}{w_y} + \frac{N}{A} < f_{yd}$$


**Tabella 22 Tensioni massime**

Come si evince dal grafico sopra, le tensioni massime risultano inferiori alla tensione di progetto dell'acciaio S355 (si rimanda al paragrafo 3.3 per le caratteristiche meccaniche dell'acciaio). Pertanto si può affermare come le verifiche tensionali per il profilo HEB 260 risultino soddisfatte.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">COMMESSA</th> <th style="width: 15%;">LOTTO</th> <th style="width: 15%;">CODIFICA</th> <th style="width: 15%;">DOCUMENTO</th> <th style="width: 15%;">REV.</th> <th style="width: 15%;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">37 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	37 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	37 di 120								

### 8.1.1 Verifica di instabilità

Per le sole colonne si effettua una verifica di instabilità. Per le travi di copertura non esiste possibilità di instabilità in quanto irrigidite e vincolate dal graticcio formato dalle travi secondarie HEB120.

A favore di sicurezza, si assumono i valori massimi di ciascuna delle tre sollecitazioni determinate sulla stessa sezione.

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{2,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_2 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}}\right)} + \frac{M_{3,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_3 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}}\right)} \leq 1.00$$

- Meccanismo di instabilità intorno all'asse X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EJ}{(l_0)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \left[ \text{kg} / \text{cm}^2 \right] \cdot 14919 \left[ \text{cm}^4 \right]}{(400)^2 \left[ \text{cm}^2 \right]} = 19300 \left[ \text{kN} \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = 0.47$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0.67$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.86 < 1$$

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	38 di 120

- Meccanismo di instabilità intorno all'asse Y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EJ}{(l_0)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \left[ \text{kg} / \text{cm}^2 \right] \cdot 5134 \left[ \text{cm}^4 \right]}{(400)^2 \left[ \text{cm}^2 \right]} = 6643 \left[ t \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = 0.79$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0.96$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.67$$

Massime sollecitazioni alla comb. SLU	$N_{Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{x,Ed}$
	kN	kNm	kNm
<b>Massima in valore ass.</b>	100	20	70

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{2,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_2 \cdot \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}} \right)} + \frac{M_{3,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_3 \cdot \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}} \right)} = 0.04 + 0.18 + 0.15 = 0.37 \leq 1.00$$

**[ok, verificato]**

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

FA4700106

REV.

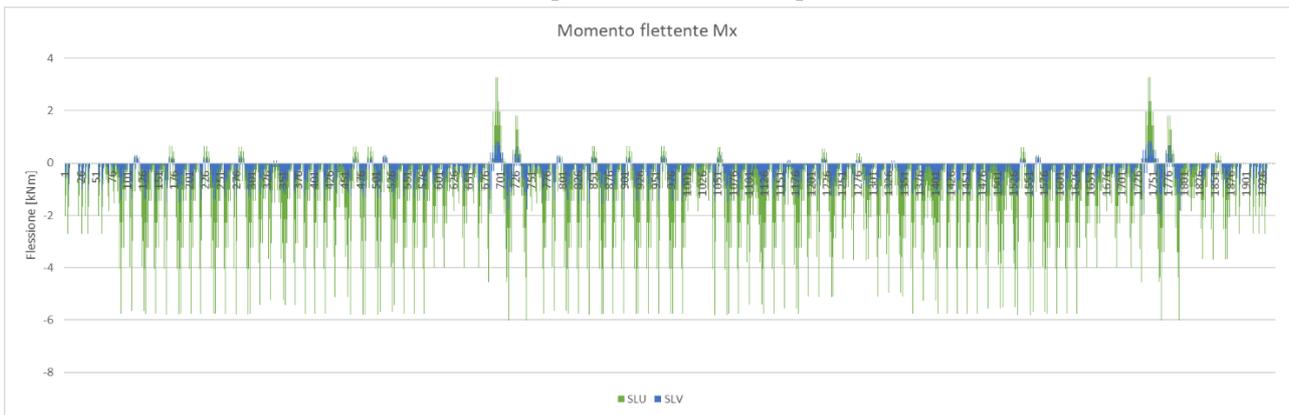
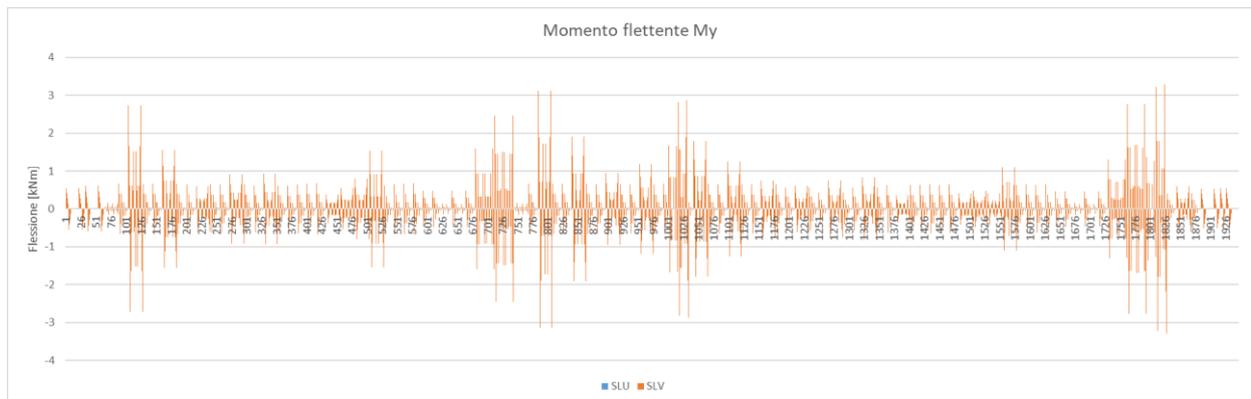
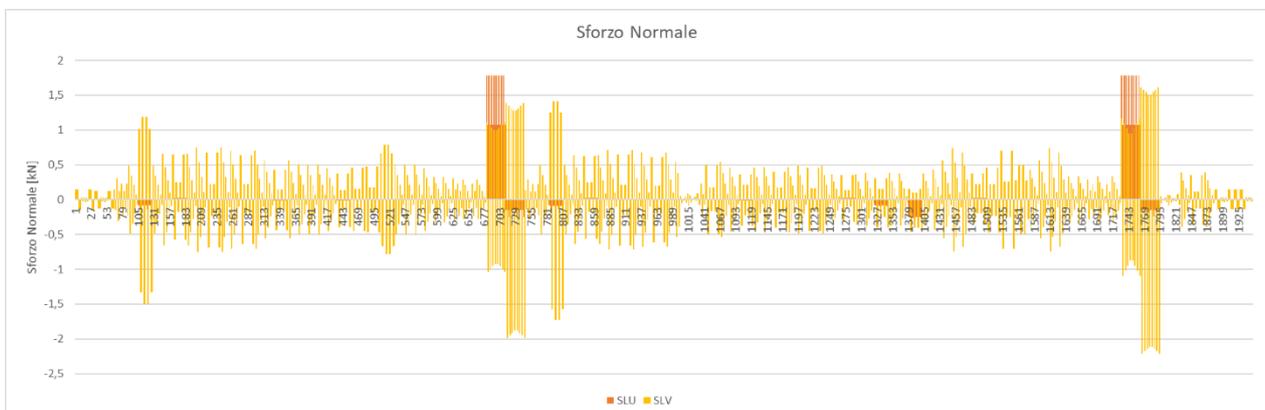
B

FOGLIO

39 di 120

## 8.2 Profilo HEB 120

Nelle seguenti tabelle si riportano le sollecitazioni ottenute dall'involuppo delle due combinazioni di carico che si assumono per la verifica dei profili metallici: SLU ed SLV.


**Tabella 23 Flessione Mx**

**Tabella 24 Flessione My**

**Tabella 25 Sforzo normale**

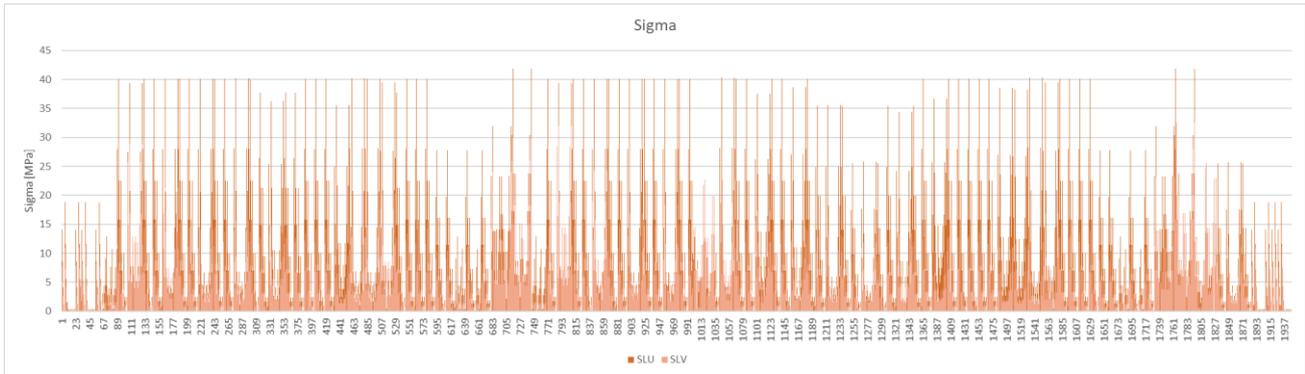
Ai fini della verifica dei profili in oggetto, si assume il seguente criterio di verifica.

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	40 di 120

$$\sigma = \frac{M_x}{w_x} + \frac{M_y}{w_y} + \frac{N}{A} < f_{yd}$$



**Tabella 26** Tensioni massime

Come si evince dal grafico sopra, le tensioni massime risultano inferiori alla tensione di progetto dell'acciaio S355 (si rimanda al paragrafo 3.3 per le caratteristiche meccaniche dell'acciaio). Pertanto si può affermare come le verifiche tensionali per il profilo HEB 120 risultino soddisfatte.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z3	CODIFICA RH	DOCUMENTO FA4700106	REV. B	FOGLIO 41 di 120

## 9. Verifiche di deformazione verticale

In esercizio, combinazione di carico SLE, è possibile determinare il massimo spostamento verticale della copertura.

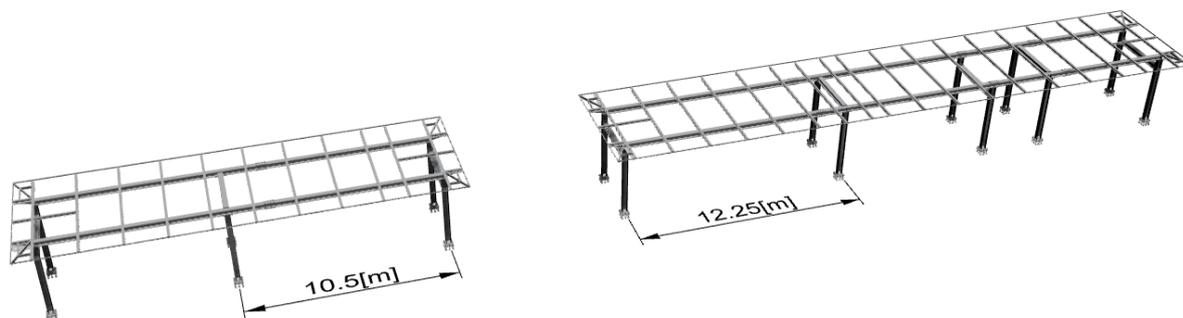
Per coperture in generale, il limite imposto da Normativa è pari a  $L/200$ . Nel caso in oggetto la luce 'L' viene assunta pari alla massima distanza fra i pilastri.

Tab. 4.2.XII - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{\max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

Tabella 27 Limite di deformabilità



$$\delta_{\max-1} = 1050 / 200 = 5.25[cm]$$

$$\delta_{\max-2} = 1225 / 200 = 6.1[cm]$$

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

00 D Z3

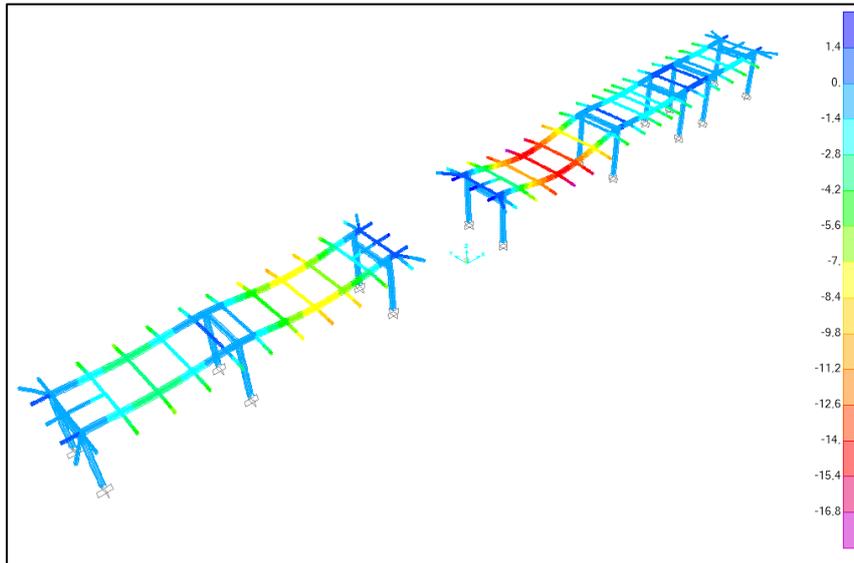
RH

FA4700106

B

42 di 120

COMB.5 - SLE neve



**Figura 12** Deformazione verticale [mm]

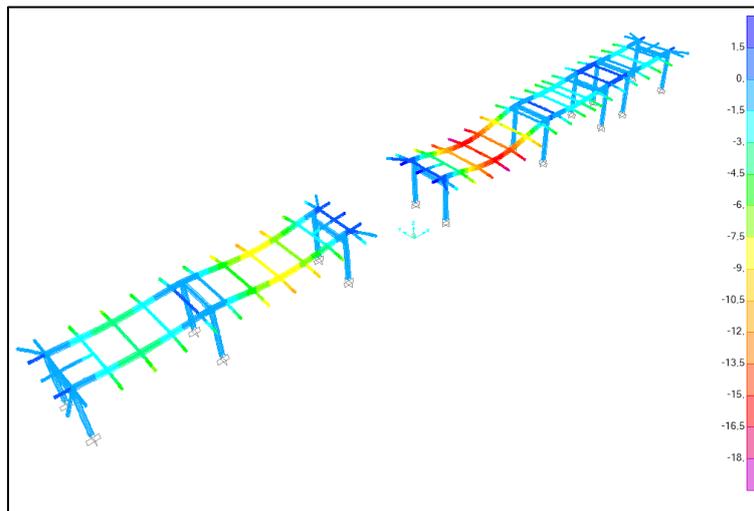
$$\delta_{comb5-1} = 8.5[mm] < \delta_{max-1}$$

**[ok, verificato]**

$$\delta_{comb5-2} = 16[mm] < \delta_{max-2}$$

**[ok, verificato]**

COMB.6 - SLE manutenzione



**Figura 13** Deformazione verticale [mm]

$$\delta_{comb6-1} = 9[mm] < \delta_{max-1}$$

**[ok, verificato]**

$$\delta_{comb6-2} = 18[mm] < \delta_{max-2}$$

**[ok, verificato]**

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

FA4700106

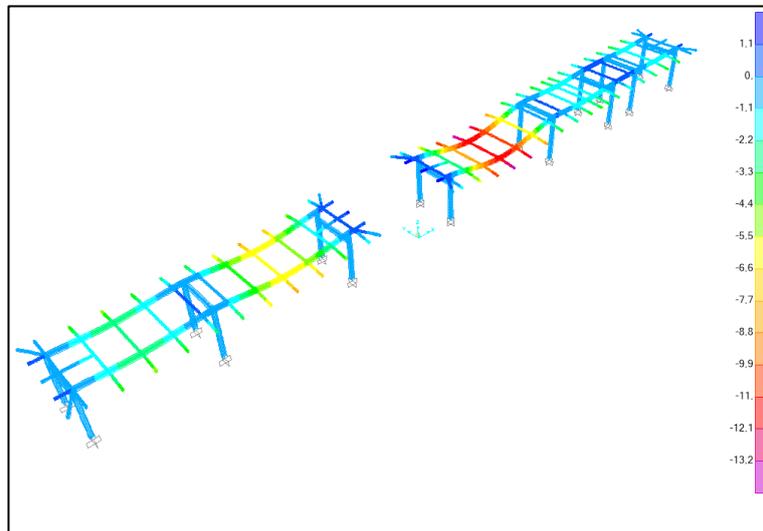
REV.

B

FOGLIO

43 di 120

COMB.7 - SLE vento



**Figura 14** Deformazione verticale [mm]

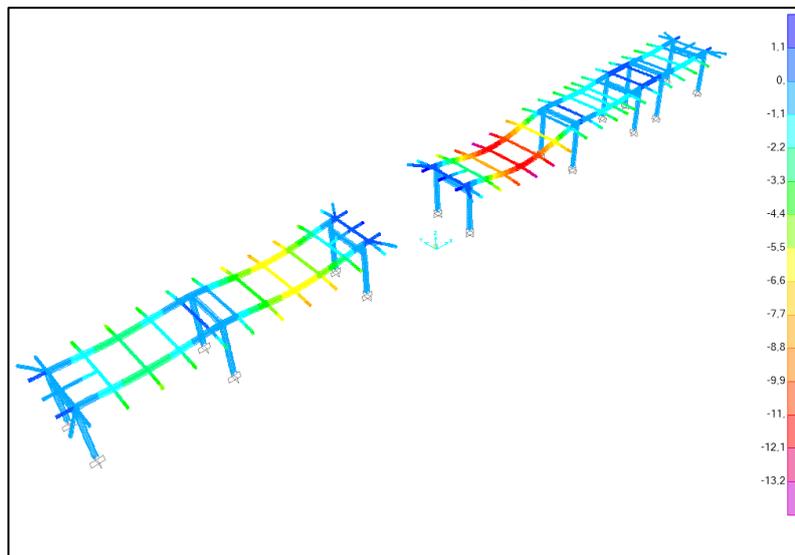
$$\delta_{comb7-1} = 6.6[mm] < \delta_{max-1}$$

**[ok, verificato]**

$$\delta_{comb7-2} = 13[mm] < \delta_{max-2}$$

**[ok, verificato]**

COMB.8 - SLE Temp



**Figura 15** Deformazione verticale [mm]

$$\delta_{comb8-1} = 6.6[mm] < \delta_{max-1}$$

**[ok, verificato]**

$$\delta_{comb8-2} = 13[mm] < \delta_{max-2}$$

**[ok, verificato]**

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

FA4700106

REV.

B

FOGLIO

44 di 120

## 10. Verifica delle connessioni

### 10.1 Connessione Pilastro-trave (tipo 1)

La connessione in oggetto si realizza laddove la trave principale viene interrotta in corrispondenza dei pilastri inferiori. In particolare, tale connessione si compone di tre collegamenti con piastre in acciaio. Due di essi sono posti a livello delle ali dei profili delle travi; il terzo collega invece le anime delle travi. I bulloni della connessione sono zincati – classe 8.8 – M24.

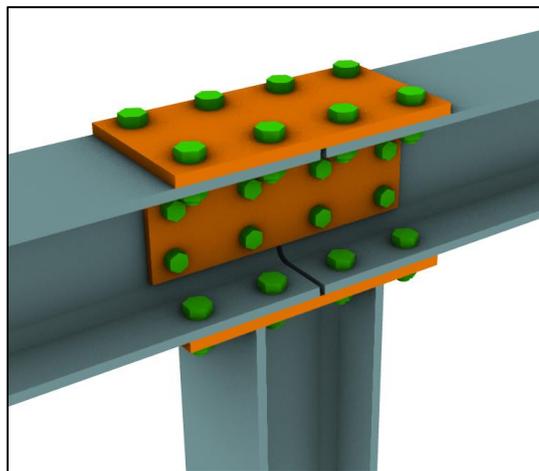


Figura 16 Vista 3d

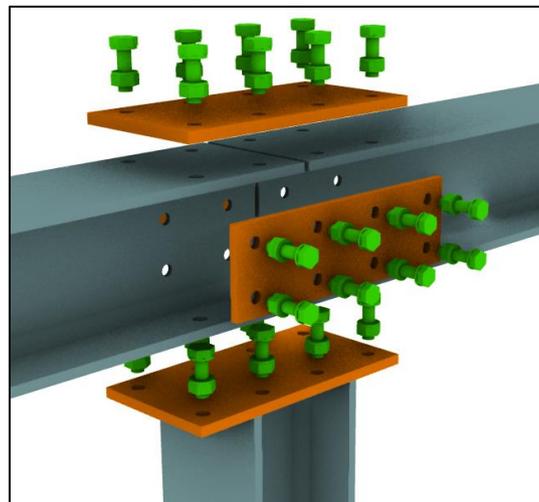


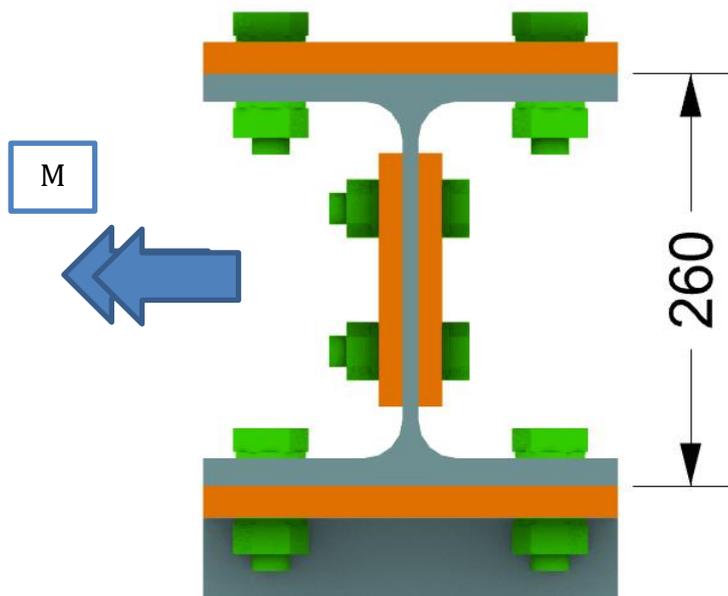
Figura 17 Vista esplosa

La connessione risulta prevalentemente sollecitata da momento flettente, il cui massimo valore fra tutte le combinazioni SLU ed SLV è pari a:

$$M = 45[kNm]$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>45 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	45 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	45 di 120								

Si può affermare come la flangia superiore e quella inferiore siano quelle che reagiscono a tale sollecitazione.



**Figura 18** Vista frontale

### 10.1.1 Verifica dell'unione bullonata

$$T = M / 260[mm] = 225[kN]$$

[azione di taglio su flangia superiore ed inferiore]

$$T' = T / 4 = 56[kN]$$

[taglio su singolo bullone]

$$F_{v,Rd} = 135[kN]$$

[taglio resistente - rif. Tabella 1]

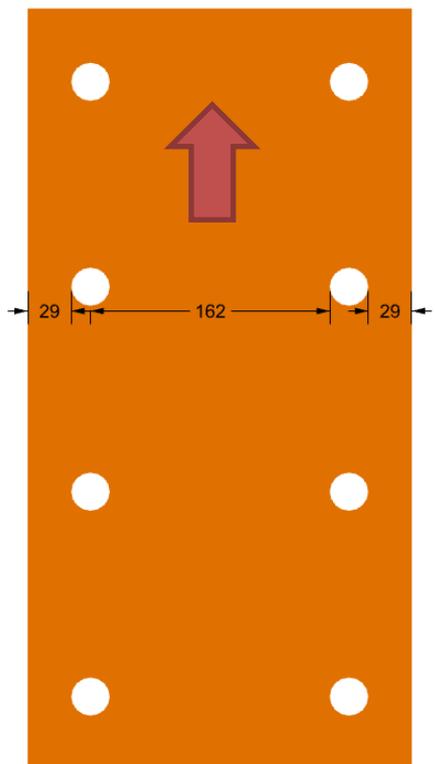
$$T' / F_{v,Rd} = 0.42 < 1.0$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>46 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	46 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	46 di 120								

### 10.1.2 Verifica del piatto

Il piatto superiore ed anche quello inferiore hanno spessore 20[mm]. La forza di taglio determinata in precedenza rappresenta una forza di trazione-compressione per il piatto. Se ne riporta la verifica.



$$T = 225[kN]$$

$$A = (29 + 162 + 29) \cdot 20[mm] = 44[cm^2]$$

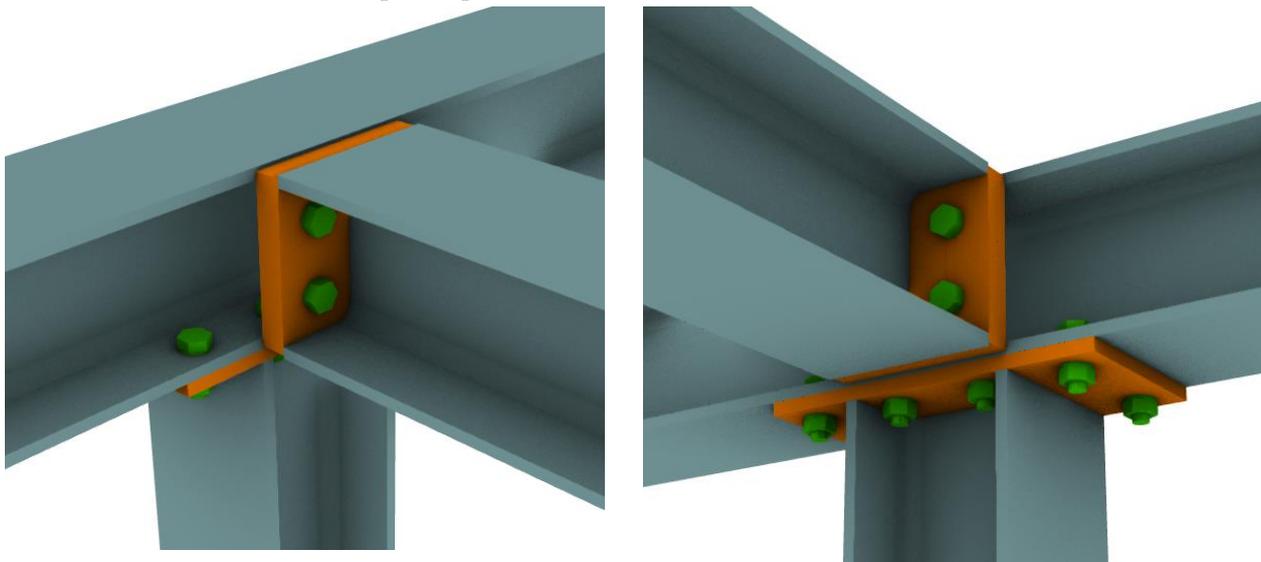
$$\sigma = T / A = 51[MPa] < f_{yd}$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>47 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	47 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	47 di 120								

## 10.2 Connessione Pilastro-trave (tipo 2)

Differentemente dalla connessione tipo 1, quella tipo 2 viene realizzata laddove la trave principale è continua al di sopra del pilastro. La trave di raccordo fra i pilastri risulta collegata con 4 bulloni M24 alla trave principale.



**Tabella 28** 3d views

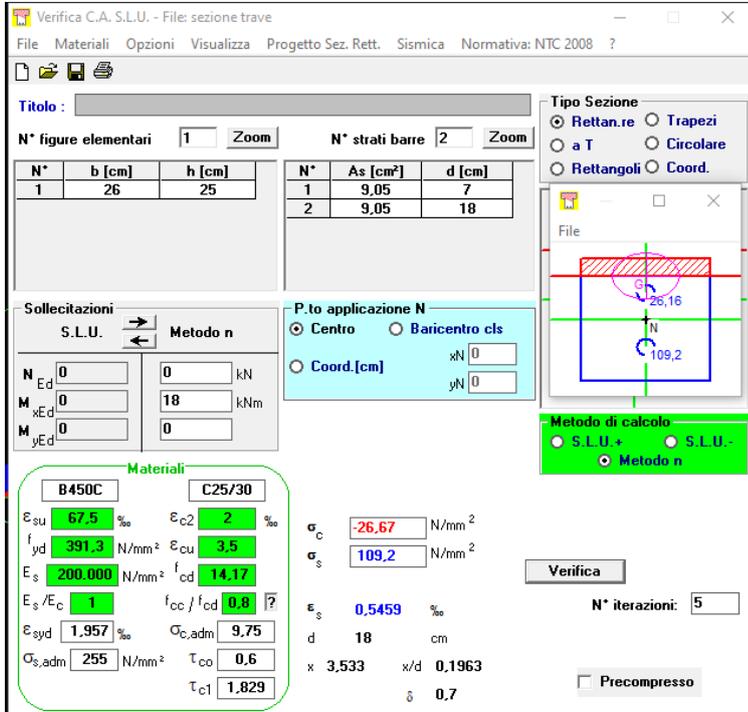
L'unione bullonata di collegamento fra le travi è sollecitata sia a flessione che taglio. I valori massimi delle sollecitazioni fra le combinazioni di involucro SLU ed SLV sono riportati nel seguito.

Sollecitazione	Valore
Flessione Mx	18 [kNm]
Taglio Vy	12 [kN]

**Tabella 29** Sollecitazioni connessione bullonata

**NOME DOCUMENTO**  
 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	48 di 120



Verifica a trazione

$$\sigma_s = 109[MPa]$$

$$T = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{2} = \frac{109[MPa] \cdot 9.05[cm^2]}{2} = 49[kN]$$

[trazione massima]

$$F_{t,Rd} = 90[kN]$$

[trazione resistente - rif. Tabella 1]

$$T / F_{t,Rd} = 0.54 < 1.0$$

**[ok, verificato]**

Verifica a taglio

$$V = V' / 4 = 3[kN]$$

[taglio su singola barra]

$$F_{v,Rd} = 50.2[kN]$$

[taglio resistente - rif. Tabella 1]

$$V / F_{v,Rd} = 0.06 < 1.0$$

**[ok, verificato]**

Verifica a taglio - trazione

$$\frac{V}{F_{v,Rd}} + \frac{T}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} = 0.4 < 1$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>49 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	49 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	49 di 120								

### 10.3 Verifica della connessione Trave Principale – Trave secondaria

Le travi HEB120 si collegano alle travi principali HEB260 tramite un'unione bullonata composta da 4 bulloni zincati – classe 8.8 – M16.

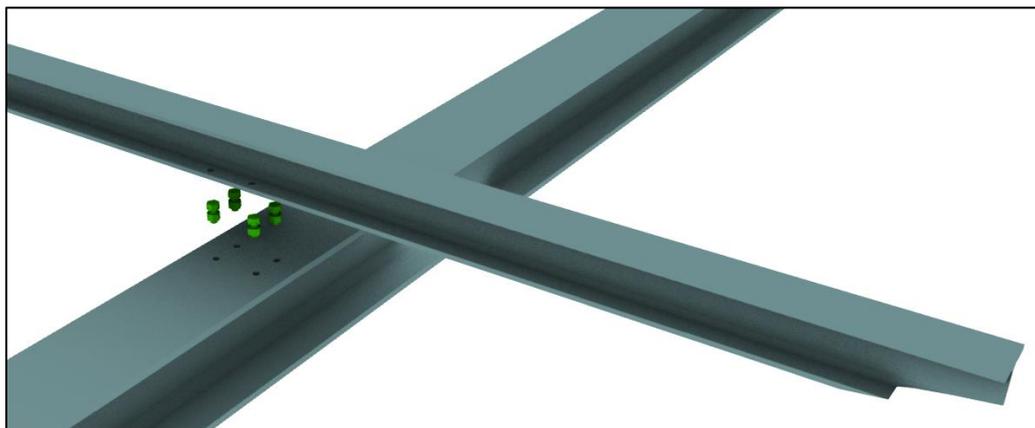


Figura 19 Vista 3d esplosa

La connessione risulta prevalentemente sollecitata da momento flettente, il cui massimo valore fra tutte le combinazioni SLU ed SLV è pari a:

$$M = 5.5[kNm]$$

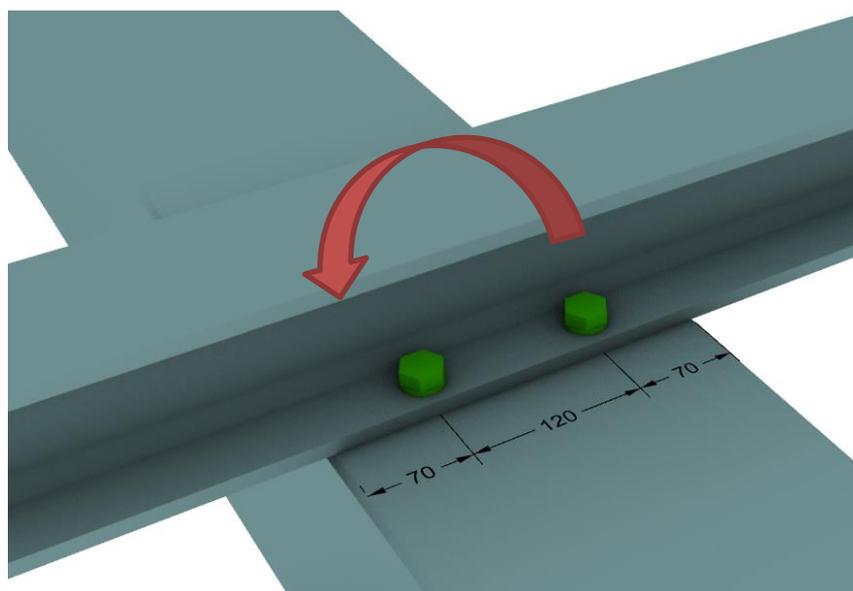


Figura 20 Vista 3d

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	50 di 120

### 10.3.1 Verifica dell'unione bullonata

**Verifica C.A. S.L.U. - File: trave 2**

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

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

**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 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  1  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9,75 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6 N/mm<sup>2</sup>  
 $\tau_{c1}$  1,829 N/mm<sup>2</sup>

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

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

**Verifica**  
 N° iterazioni: 5  
 Precompresso

$$\sigma_s = 71[MPa]$$

$$T = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{2} = \frac{71[MPa] \cdot 4.02[cm^2]}{2} = 14[kN]$$

[trazione massima]

$$F_{t,Rd} = 90[kN]$$

[taglio resistente - rif. Tabella 1]

$$T / F_{t,Rd} = 0.15 < 1.0$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>51 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	51 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	51 di 120								

### 10.4 Verifica della connessione in fondazione

Ciascun pilastro si collega alla fondazione sottostante tramite una piastra saldata di spessore 30[mm] e 8 tirafondi realizzati da barre M24.

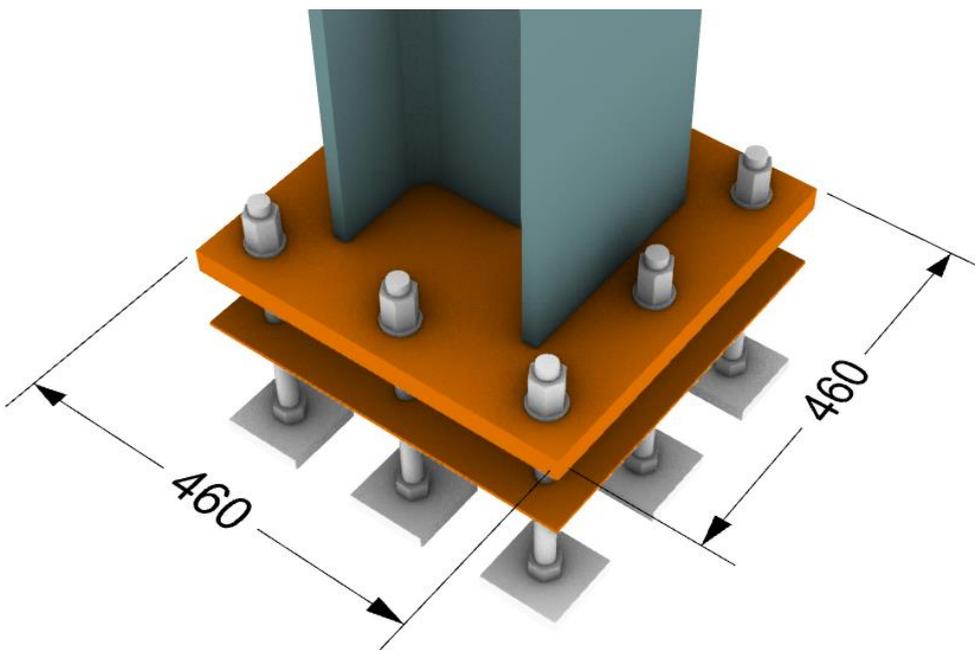


Figura 21 Vista 3d

La connessione è sollecitata da azioni di compressione, taglio e flessione. Nella seguente tabella si riportano i massimi valori determinabili dall'involuppo delle combinazioni SLU ed SLV. A favore di sicurezza, le sollecitazioni sotto riportate si assumono agenti contemporaneamente sulla stessa connessione.

Sollecitazione	Valore
Compressione	100 [kN]
Flessione Mx	29 [kNm]
Flessione My	20 [kNm]
Taglio Vx	9.7 [kN]
Taglio Vy	25 [kN]

Tabella 30 Sollecitazioni connessione in fondazione

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>52 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	52 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	52 di 120								

### 10.4.1 Verifica della carpenteria metallica

Tramite un modello di calcolo agli elementi finiti si analizzano le sollecitazioni massime sulla connessione maggiormente sollecitata. A favore di sicurezza, la compressione viene assunta pari a zero.

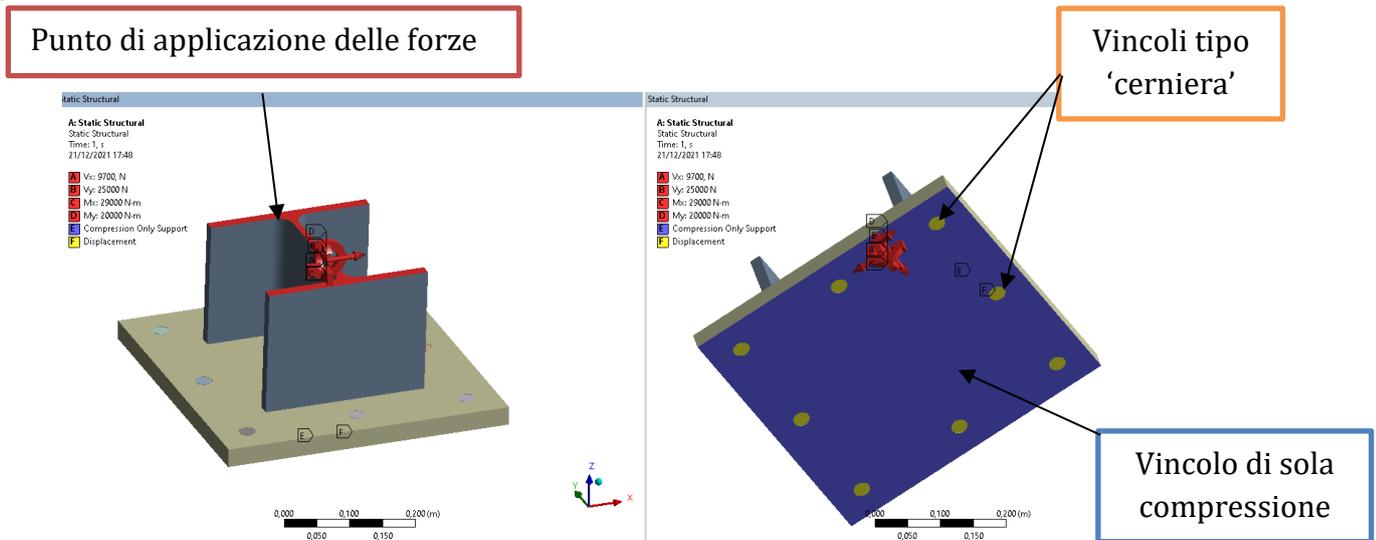


Figura 22 Modello di calcolo

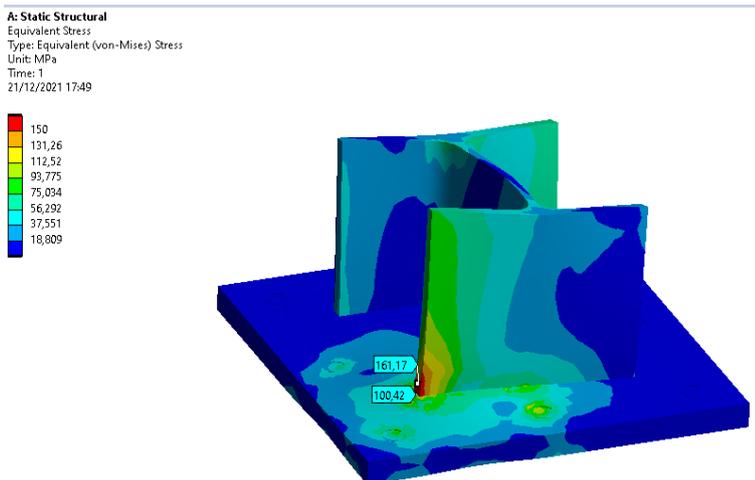


Figura 23 Tensioni di VonMises

$$\sigma_{VonMises} = 160 [MPa]$$

$$f_{ywd} = 338 [MPa]$$

$$\sigma_{VonMises} / f_{ywd} = 0.47 < 1$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>53 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	53 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	53 di 120								

### 10.4.2 Verifica dei tirafondi

I tirafondi sono realizzati da 8 barre filettate M24. La barra maggiormente sollecitata è caricata sia da azioni di trazione che di taglio.

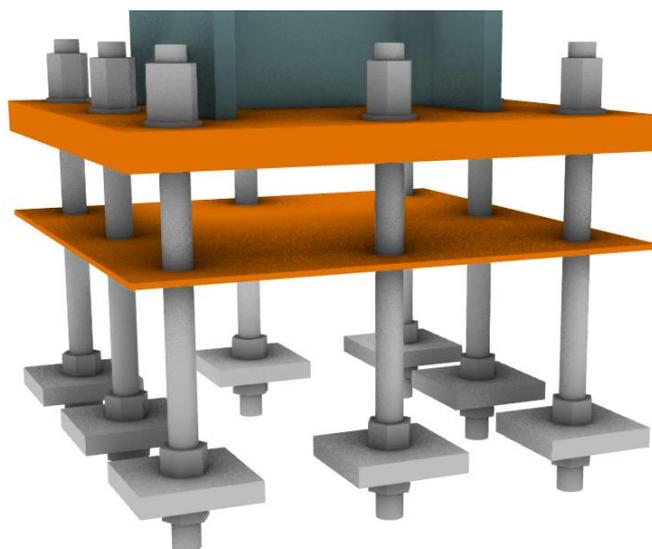
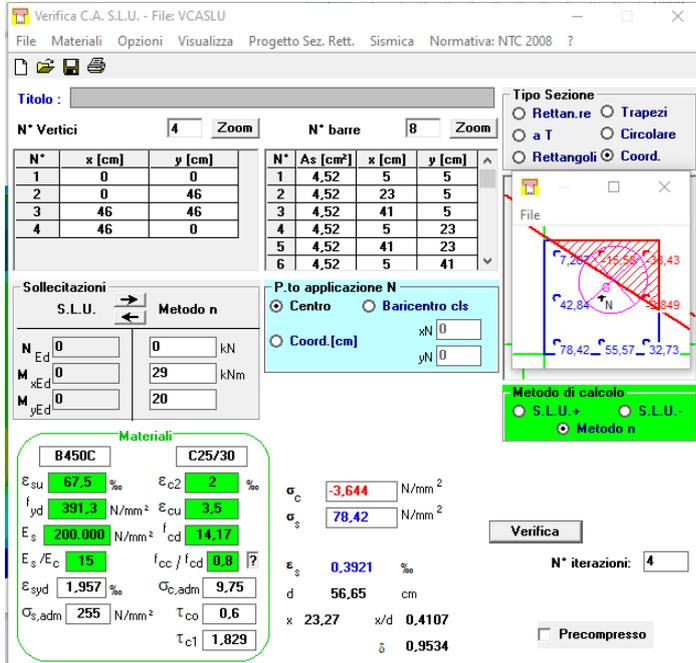


Figura 24 Vista 3d

**NOME DOCUMENTO**  
 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	54 di 120



Verifica a trazione

$$\sigma_s = 78 [MPa]$$

$$T = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{2} = 78 [MPa] \cdot 4.52 [cm^2] = 35 [kN]$$

[trazione massima]

$$F_{t,Rd} = 90 [kN]$$

[trazione resistente - rif. Tabella 1]

$$T / F_{t,Rd} = 0.38 < 1.0$$

**[ok, verificato]**

Verifica a taglio

$$V = \frac{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{8} = 3.3 [kN]$$

[taglio su singola barra]

$$F_{v,Rd} = 50.2 [kN]$$

[taglio resistente - rif. Tabella 1]

$$V / F_{v,Rd} = 0.07 < 1.0$$

**[ok, verificato]**

Verifica a taglio - trazione

$$\frac{V}{F_{v,Rd}} + \frac{T}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} = 0.14 < 1$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>55 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	55 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	55 di 120								

Resistenza estrazione barra di ancoraggio

$$f_{bd} = f_{bk} / 1.5 = 2.69[MPa]$$

$$L = 340[mm]$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r = 75[mm]$$

$$\tau = \frac{T}{P \cdot L} = \frac{35[kN]}{75[mm] \cdot 340[mm]} = 1.37[MPa]$$

$$\tau / f_{bd} = 0.50 < 1$$

**[ok, verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>56 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	56 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	56 di 120								

## 11. Verifica delle fondazioni- modello Brignole 1

Nella presente relazione di calcolo si riportano le verifiche inerenti alla sola struttura di fondazione intese come:

- Verifiche strutturali
- Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono svolte come previsto dalla NTC del 2018 al punto 6.4.3.1 seguendo la combinazione di calcolo:

**A1+M1+R3**

**Si precisa come la relazione geologica a nostra disposizione non riporti delle indagini penetrometriche riferite al sito della costruzione. Pertanto nelle verifiche riportate nei seguenti punti si impiegano dei parametri geotecnici cautelativi i quali in fase esecutiva dovranno essere opportunamente verificati mediante prove geologiche in sito. Inoltre la fondazione oggetto di verifica è progettata considerando un andamento altimetrico del terreno pianeggiante. Nel caso in cui tale ipotesi non risulti essere verificata si deve necessariamente modificare la tipologia di fondazione inserendo pali e/o muri di sostegno.**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">57 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	57 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	57 di 120								

## 11.1 CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

Le caratteristiche meccaniche del terreno presente in sito sono le seguenti:

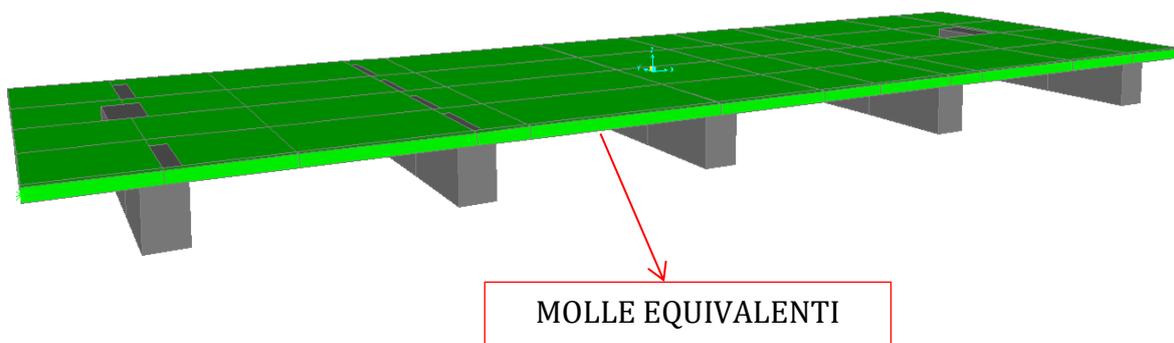
- Strato di Terreno argilloso spesso 15 m avente:

N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$\phi'_{cv}$ [°]	Dr [%]	IC	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$v$	NSPT	OCR	$\Delta\sigma'_p$ [kPa]	$E_{ed}$ [MPa]	CR	RR	CR/RR	FC [%]
1	omogeneo	limo	fine	argillosa	15	18	25	25	1	0.4	8	100	0.3	30	1		5			8	0

**Vista la presenza di un terreno principalmente a grana fine, si ritiene opportuno considerare la posizione della falda alla quota del piano di posa della fondazione.**

## 11.2 Modello di Calcolo della Fondazione con Winkler

La fondazione dell'opera è analizzata mediante apposito modello agli elementi finiti in cui i vincoli di incastro perfetto sono sostituiti da apposite molle dotate di opportuna rigidità a simulare l'iterazione tra travi di fondazione ed il terreno. Si riporta nell'immagine sottostante la fondazione impiegata:



L'iterazione tra la struttura di fondazione e il terreno è stata condotta tramite il modello di Winkler. Il calcolo della rigidità da assegnare alla molla è condotto calcolando prima il cedimento medio al di sotto del centro della fondazione. Noto il cedimento si calcola la rigidità della molla con il rapporto tra il carico distribuito presente sulla platea ed il cedimento

$$K_W = \frac{\Delta q_{slu}}{W}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">58 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	58 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	58 di 120								

### 11.2.1 Calcolo della costante elastica di Winkler

Considerando la combinazione quasi permanente è presente in fondazione, in corrispondenza del baricentro delle masse della sovrastruttura, un carico concentrato pari ad:

TABLE: Base Reactions						
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY
Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
quasi permanente	Combination	2.818E-14	1.795E-12	249.3137	0.22585	2.37724

$$Q_{\text{quasi permanente}} = 249 \text{ [ton]}$$

$$M_{x,slu} = 0,22 \text{ [tonm]}$$

$$M_{y,slu} = 2,38 \text{ [tonm]}$$

Tale risultante dei carichi è desunta considerando sulla fondazione la presenza:

- Pensilina del capolinea
- Box sottostanti alla pensilina del capolinea

La fondazione è composta da travi spesse 60 cm e profonde circa 100 cm collegate in testa mediante soletta in calcestruzzo spessa 20 cm non appoggiata a terra. Il piano di posa della fondazione è posto a quota -1.40 m dal piano campagna. Il terreno su cui poggia la fondazione è composto principalmente da terreno coesivo. Il calcolo dei cedimenti avviene mediante il metodo Edometrico. Si riporta la stratigrafia ipotizzata per il sito di costruzione dell'opera:

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	59 di 120

**Stratigrafie**

N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Tipo A		0 1 strati: Htot =15

**Strati stratigrafia Tipo A (1 strati: Htot =15)**

N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$\varphi'_{cv}$ [°]	Dr [%]	IC	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	v	NSPT	OCR	$\Delta\sigma'_p$ [kPa]	Eed [MPa]	CR	RR	CR/RR	FC [%]
1	omogeneo	limo	fine	argillosa	15	18	25	25	1	0.4	8	100	0.3	30	1		5			8	0

Si riporta il calco del cedimento:

**Verifiche Cedimenti Edometrici**

Piano k.Wink.	Rettangolo	Fam	Cmb	q	qN	$\sigma'v0$	WTot
[N/cm <sup>3</sup> ]	fondazione			[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]
0	Trave 1						
sez.0	4	1	85254	75422	9832	10.082	8.4558
0	Trave 1						
sez.1	4	1	85258	75426	9832	10.083	8.4558
0	Trave 1						
sez.2	4	1	85262	75430	9832	10.083	8.4558
0	Trave 2						
sez.0	4	1	85263	75431	9832	10.084	8.4557
0	Trave 2						
sez.1	4	1	85264	75432	9832	10.084	8.4555
0	Trave 2						
sez.2	4	1	85262	75430	9832	10.083	8.4558
0	Trave 3						
sez.0	4	1	85260	75428	9832	10.083	8.4558
0	Trave 3						
sez.1	4	1	85256	75424	9832	10.083	8.4558
0	Trave 3						
sez.2	4	1	85249	75417	9832	10.082	8.4558
0	Trave 4						
sez.0	4	1	89122	79290	9832	10.646	8.3715
0	Trave 4						
sez.1	4	1	89122	79290	9832	10.647	8.3708
0	Trave 4						
sez.2	4	1	89122	79290	9832	10.645	8.372
0	Trave 5						
sez.0	4	1	89121	79289	9832	10.645	8.3718
0	Trave 5						
sez.1	4	1	89121	79289	9832	10.646	8.3716
0	Trave 5						
sez.2	4	1	89119	79287	9832	10.645	8.3721
0	Trave 6						
sez.0	4	1	89121	79289	9832	10.645	8.3718
0	Trave 6						
sez.1	4	1	89121	79289	9832	10.646	8.3716
0	Trave 6						
sez.2	4	1	89122	79290	9832	10.645	8.372
0	Trave 7						
sez.0	4	1	98925	89093	9832	12.252	8.0742

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	60 di 120

0	Trave 7						
sez.1	4	1	98918	89086	9832	12.253	8.0732
0	Trave 7						
sez.2	4	1	98913	89081	9832	12.249	8.0752
0	Trave 8						
sez.0	4	1	98912	89080	9832	12.25	8.0745
0	Trave 8						
sez.1	4	1	98909	89077	9832	12.25	8.0743
0	Trave 8						
sez.2	4	1	98903	89071	9832	12.248	8.0752
0	Trave 9						
sez.0	4	1	98923	89091	9832	12.251	8.0746
0	Trave 9						
sez.1	4	1	98926	89094	9832	12.252	8.0743
0	Trave 9						
sez.2	4	1	98927	89095	9832	12.251	8.0752
0	Trave 10						
sez.0	4	1	137036	127204	9832	18.056	7.5897
0	Trave 10						
sez.1	4	1	137147	127315	9832	18.068	7.5905
0	Trave 10						
sez.2	4	1	137239	127407	9832	18.079	7.5909
0	Trave 11						
sez.0	4	1	136727	126895	9832	18.021	7.5872
0	Trave 11						
sez.1	4	1	136609	126777	9832	18.007	7.5863
0	Trave 11						
sez.2	4	1	136487	126655	9832	17.994	7.5853
0	Trave 12						
sez.0	4	1	136671	126839	9832	18.014	7.5868
0	Trave 12						
sez.1	4	1	136762	126930	9832	18.025	7.5875
0	Trave 12						
sez.2	4	1	136928	127096	9832	18.043	7.5888
0	Trave 13						
sez.0	4	1	137180	127348	9832	18.072	7.5906
0	Trave 13						
sez.1	4	1	137046	127214	9832	18.057	7.5896
0	Trave 13						
sez.2	4	1	136840	127008	9832	18.034	7.5881
0	Trave 14						
sez.0	4	1	98919	89087	9832	12.251	8.0742
0	Trave 14						
sez.1	4	1	98912	89080	9832	12.252	8.0732
0	Trave 14						
sez.2	4	1	98906	89074	9832	12.248	8.0752
0	Trave 15						
sez.0	4	1	98905	89073	9832	12.249	8.0745
0	Trave 15						
sez.1	4	1	98902	89070	9832	12.249	8.0742
0	Trave 15						
sez.2	4	1	98896	89064	9832	12.247	8.0751
0	Trave 16						
sez.0	4	1	98916	89084	9832	12.25	8.0745
0	Trave 16						
sez.1	4	1	98919	89086	9832	12.251	8.0743
0	Trave 16						
sez.2	4	1	98920	89088	9832	12.25	8.0751
0	Trave 17						
sez.0	4	1	89119	79287	9832	10.646	8.3714
0	Trave 17						
sez.1	4	1	89119	79286	9832	10.646	8.3708
0	Trave 17						
sez.2	4	1	89118	79286	9832	10.645	8.372
0	Trave 18						

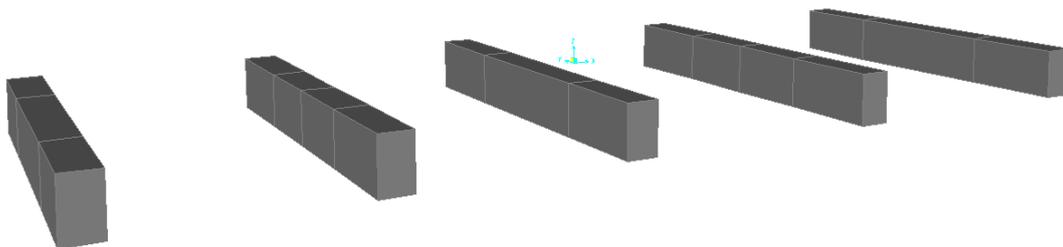
**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	61 di 120

sez.0	4	1	89118	79286	9832	10.645	8.3718
0	Trave 18						
sez.1	4	1	89117	79285	9832	10.645	8.3716
0	Trave 18						
sez.2	4	1	89116	79284	9832	10.644	8.3721
0	Trave 19						
sez.0	4	1	89117	79285	9832	10.645	8.3718
0	Trave 19						
sez.1	4	1	89118	79286	9832	10.645	8.3716
0	Trave 19						
sez.2	4	1	89119	79287	9832	10.645	8.372
0	Trave 20						
sez.0	4	1	85261	75429	9832	10.083	8.4557
0	Trave 20						
sez.1	4	1	85262	75430	9832	10.084	8.4555
0	Trave 20						
sez.2	4	1	85260	75428	9832	10.083	8.4558
0	Trave 21						
sez.0	4	1	85258	75426	9832	10.083	8.4558
0	Trave 21						
sez.1	4	1	85254	75422	9832	10.082	8.4558
0	Trave 21						
sez.2	4	1	85247	75415	9832	10.082	8.4558
0	Trave 22						
sez.0	4	1	85252	75420	9832	10.082	8.4558
0	Trave 22						
sez.1	4	1	85256	75424	9832	10.083	8.4558
0	Trave 22						
sez.2	4	1	85260	75428	9832	10.083	8.4558

Nella tabella precedente si riporta il carico agente su ciascuna trave, il relativo cedimento calcolato con anche il valore di rigidezza della molla. Tali valori di rigidezza sono assegnati alle travi di fondazione:



La costante di Winkler mediata tra tutte le travi è circa la seguente:

$$K_W = \frac{\Delta q_{slu}}{W} = 0.8 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">62 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	62 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	62 di 120								

### 11.3 Confronto tra modello con fondazione rigida e flessibile

Al presente punto si riporta il confronto tra il modello con fondazione rigida (vincoli di incastro perfetto) con cui si sono valutate le sollecitazioni sulla struttura in elevazione ed il modello con fondazione flessibile (vincoli con molle) con cui si verifica la struttura di fondazione. Prima di procedere in questo modo la NTC del 2018 richiede al punto 7.2.6 punto b) che la risultante di taglio alla base e di sforzo normale calcolata con la fondazione flessibile deve essere almeno pari al 70% della risultante di taglio alla base e sforzo normale calcolati con modello di calcolo con fondazione rigida e spettro di risposta con suolo di tipo A. Si dimostra nel seguito il rispetto di tale disuguaglianza:

#### Fondazione rigida:

Nel caso in esame i valori di taglio alla base e sforzo normale calcolati allo SLV con modello con fondazione rigida sono i seguenti:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf
SISMA X	Combination	Max	2.4248	0.6091	251.1599
SISMA X	Combination	Min	-2.4248	-0.6091	247.4675
SISMA Y	Combination	Max	0.8261	1.7575	250.0854
SISMA Y	Combination	Min	-0.8261	-1.7575	248.542

Le risultanti:

$$T_{\text{base,comb.SLV-X,rigida}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 2.5 \text{ [ton]}$$

$$T_{\text{base,comb.SLV-Y,rigida}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 1.93 \text{ [ton]}$$

$$N_{\text{comb.SLV,rigida}} = 249 \text{ [ton]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">63 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	63 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	63 di 120								

### Fondazione flessibile:

Nel caso in esame i valori di taglio alla base e sforzo normale calcolati allo SLV con modello con fondazione flessibile sono i seguenti:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf
SISMA X	Combination	Max	5.9208	1.4943	250.5819
SISMA X	Combination	Min	-5.9208	-1.4943	248.0455
SISMA Y	Combination	Max	1.9392	4.5046	249.8332
SISMA Y	Combination	Min	-1.9392	-4.5046	248.7942

Le risultanti:

$$T_{\text{base,comb.SLV-X,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 6.10 \text{ [ton]}$$

$$T_{\text{base,comb.SLV-Y,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 4.90 \text{ [ton]}$$

$$N_{\text{comb.SLV,flessibile}} = 249 \text{ [ton]}$$

Il limite posto da NTC del 2018 posto pari al 70% delle risultanti di taglio alla base e sforzo normale è rispettato in quanto le sollecitazioni ottenute con la fondazione flessibile sono superiori a quelle ottenute con fondazione rigida e spettro di risposta con terreno di tipo A.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">64 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	64 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	64 di 120								

## 11.4 VERIFICHE DI RESISTENZA

Nel presente capitolo si riportano le verifiche strutturali e geotecniche richieste da NTC del 2018.

### 11.4.1 Verifiche di Resistenza Geotecnica (A1+M1+R3)

Le verifiche geotecniche consistono in:

- Verifica capacità portante della fondazione
- Verifica a scorrimento
- Verifica dei cedimenti (metodo edometrico).

#### 11.4.1.1 Verifica di Portanza della fondazione

Il calcolo della portanza viene condotta a lungo termine in condizioni drenate per quanto riguarda la combinazione allo stato limite ultimo e nel breve termine in condizioni non drenate per la combinazione sismica allo stato limite di salvaguardia della vita. . Le sollecitazioni massime ottenute sulla fondazione sono calcolate allo stato limite ultimo e di salvaguardia della vita.

- SLU
- SLV

#### 11.4.1.1.1 Verifica di Portanza della fondazione allo SLU-CONDIZIONE DRENATE

La resistenza di progetto  $R_d$ , cioè in questo caso la tensione massima sopportabile dal terreno è calcolata:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">65 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	65 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	65 di 120								

Si procede al calcolo della portanza in condizioni drenate. La rottura di un terreno argilloso limoso viene determinata con il seguente cuneo di rottura:

Il q<sub>lim</sub> cioè la capacità portante del terreno dove poggia la fondazione è valutato mediante la formula di Brinch-Hansen:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot (s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma}) + c' \cdot N_c \cdot (s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c) + \sigma'_v \cdot N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q)$$

Il terreno di posa della fondazione ha le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Base della fondazione  $B = 0.60 \text{ m}$
- peso dell'unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito interno  $\varphi = 25^\circ$
- coesione efficace  $c' = 0.08 \text{ t/mq}$

Il piano di posa della fondazione si trova ad una distanza dal piano campagna pari ad:

$$h = 1.4 \text{ m}$$

inoltre esso non risulta essere inclinato quindi i fattori di forma  $b$  espressi in Brinch-Hansen vengono annullati:

$$b_c = b_q = 1$$

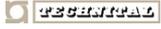
Anche il carico agente sulla fondazione non risulta essere, inclinato pertanto:

$$i_{\gamma} = i_c = i_q = 1$$

La fondazione ha i seguenti fattori di forma:

$$s_{\gamma} = 1.07$$

$$s_{\gamma} = s_q = 1.01$$



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	66 di 120

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot K_p \cdot \left(\frac{B}{L}\right) = 1.30$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">67 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	67 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	67 di 120								

I fattori di approfondimento sono:

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{d}{B} \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin \varphi)^2 = 1.37$$

$$d_c = 1 + 0.2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B} = 1.73$$

I coefficienti di capacità portante impiegati (Vesic) sono:

$$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 10.65$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi = 10.87$$

$$N_c = 20.70$$

Di conseguenza la capacità portante della fondazione risulta essere la seguente:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma) + c' \cdot N_c \cdot (s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c) + \sigma'_v \cdot N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q) =$$

$$q_{lim} = 0.54 [MPa]$$

Considerando un fattore di sicurezza pari ad:

<i>Tabella 6.4.1 – Coefficienti parziali <math>\gamma_R</math> per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali</i>			
VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE ( R1 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R2 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R3 )
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

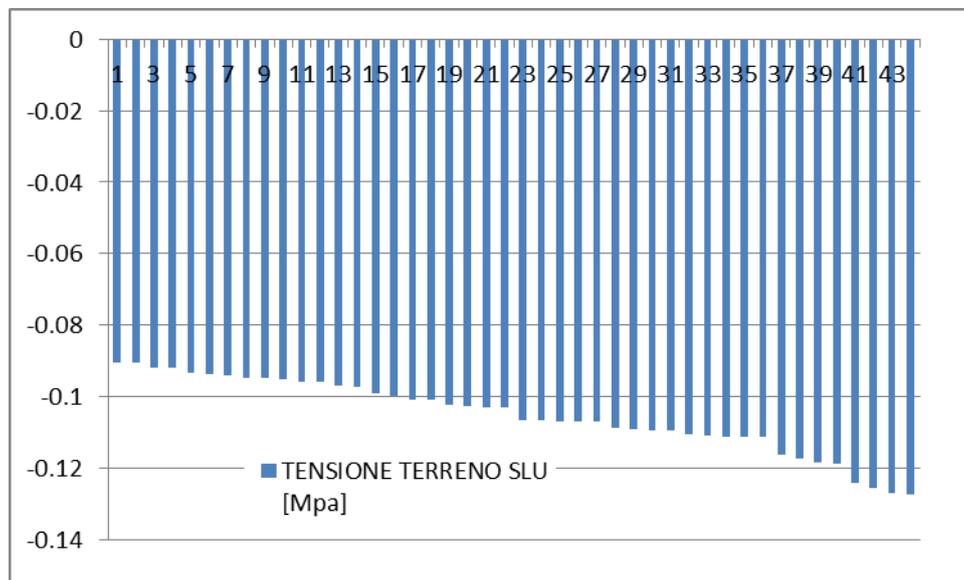
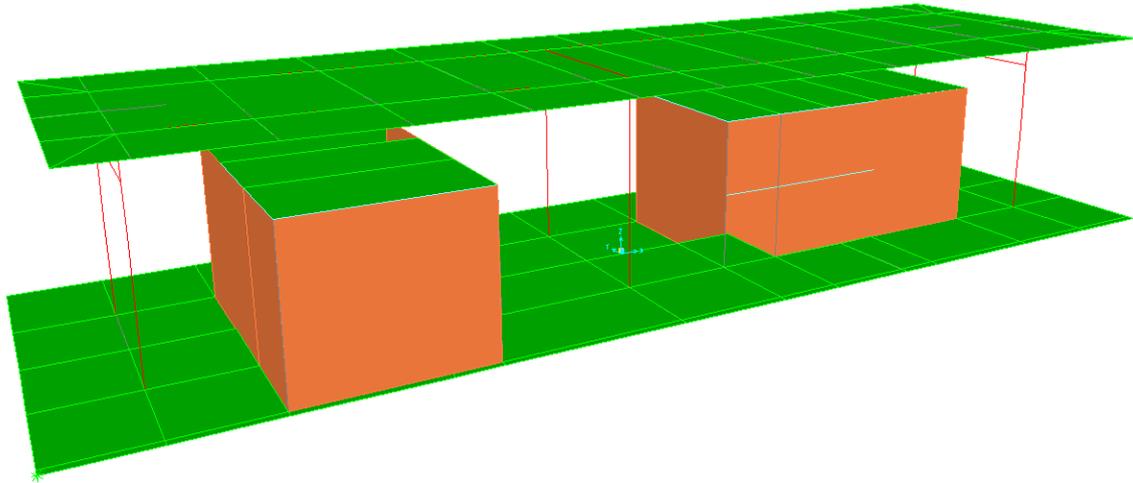
$$FS = 2.3$$

La capacità portante di progetto della fondazione è:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS} = 0.23 [MPa]$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>68 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	68 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	68 di 120								

La tensione massima agente sul terreno con costante di Winkler pari a 0.8 kg/cm<sup>3</sup>:



$$\sigma_t = 0.13 [MPa]$$

La verifica a capacità portante risulta quindi soddisfatta:

$$E_d = 0.13 [MPa] \leq R_d = 0.23 [MPa]$$

**OK, Verificato!**

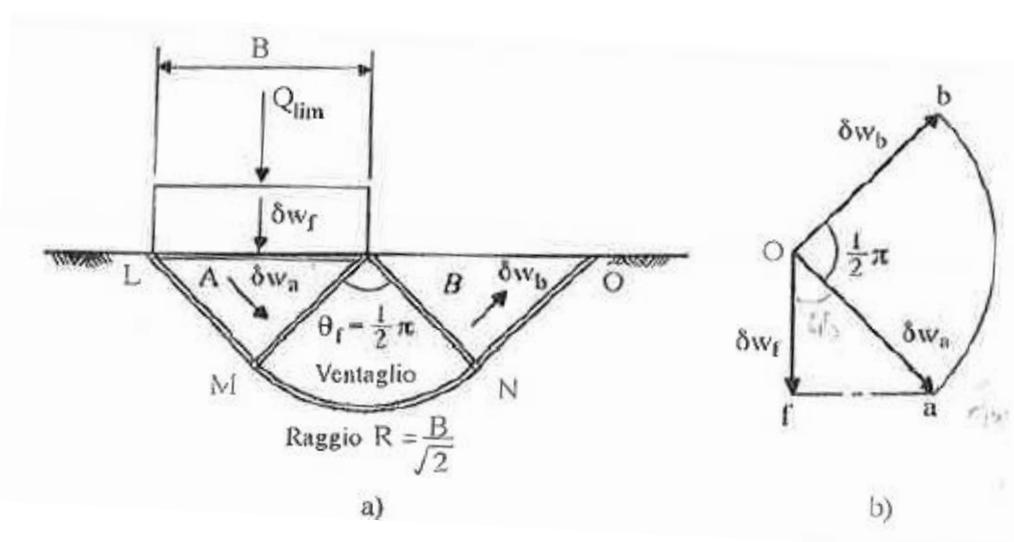
	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>69 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	69 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	69 di 120								

#### 11.4.1.1.2 Verifica di Portanza della fondazione allo SLV-CONDIZIONI NON DRENATE

La resistenza di progetto  $R_d$ , cioè in questo caso la tensione massima sopportabile dal terreno è calcolata:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS}$$

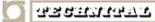
Si procede al calcolo della portanza in condizioni non drenate. In questo caso le sovrappressioni interstiziali non sono dissipate ( $\Delta u \neq 0$ ), pertanto la verifica viene condotta in termini di tensioni e parametri meccanici totali. La rottura di un terreno argilloso limoso viene determinata con il seguente cuneo di rottura:



Con tale meccanismo di rottura il carico limite della fondazione è il seguente:

$$q_{lim} = \frac{Q_{lim}}{B} = (2 + \pi) \cdot c_{ud} + \gamma_{sat} \cdot h$$

Con l'approccio numero uno si devono dividere le resistenze caratteristiche geotecniche per i coefficienti parziali dati da NTC del 2018 al punto 6.2.4.1.2:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">70 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	70 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	70 di 120								

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

Quindi:

$$c_{ud} = \frac{0.10}{1} = 0.10 \text{ MPa}$$

Il carico limite diviene:

$$q_{lim} = \frac{Q_{lim}}{B} = (2 + \pi) \cdot c_{ud} + \gamma_{sat} \cdot h = 0.514 + 0.0216 = 0.54 \text{ [MPa]}$$

Tale valore deve essere ridotto per il fattore di sicurezza FS posto pari ad:

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE ( R1 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R2 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R3 )
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

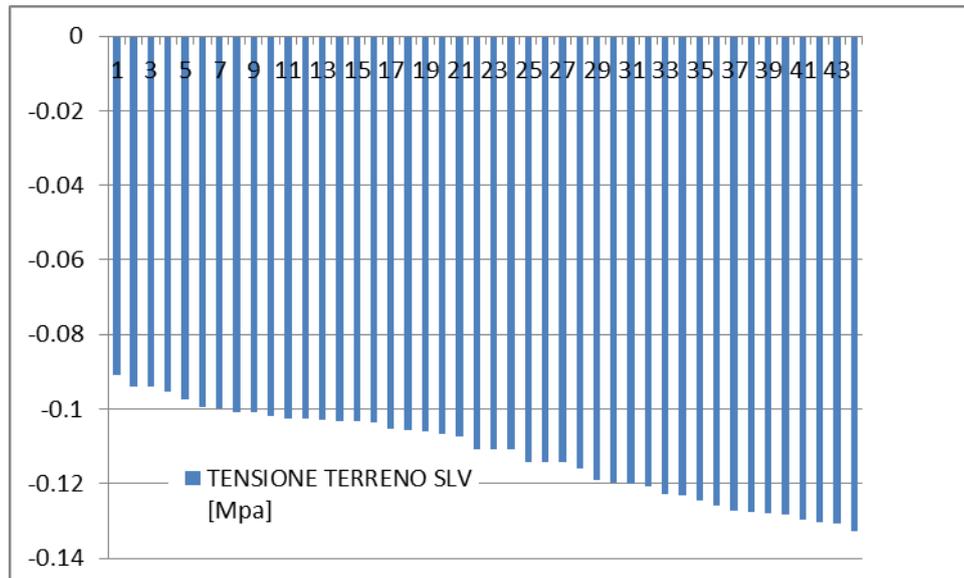
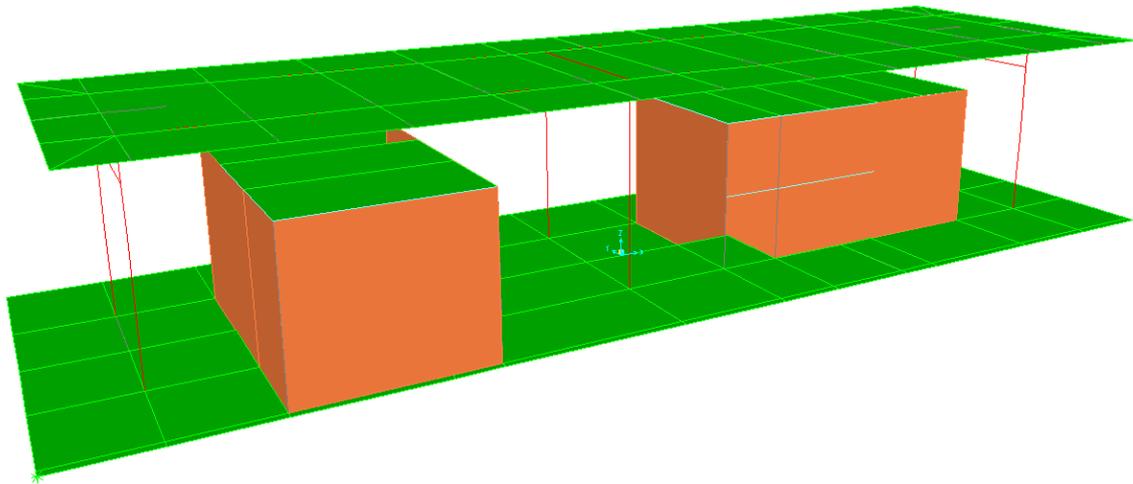
$$FS = 2.3$$

La capacità portante di progetto della fondazione è:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS} = 0.23 \text{ [MPa]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">71 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	71 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	71 di 120								

La tensione massima agente sul terreno con costante di Winkler pari a 0.8 kg/cm<sup>3</sup>:



$$\sigma_t = 0.13 [MPa]$$

La verifica a capacità portante risulta quindi soddisfatta:

$$E_d = 0.13 [MPa] \leq R_d = 0.23 [MPa]$$

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>72 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	72 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	72 di 120								

### 11.4.1.1.3 Verifica a Scorrimento allo SLV

La resistenza di progetto  $R_d$ , cioè in questo caso la capacità a scorrimento è calcolata con la sottostante espressione:

$$R_d = \frac{A \cdot C_u}{\gamma_R}$$

In cui:

- $A$  è l'area della fondazione
- $C_u$  è la resistenza a taglio non drenata
- $\gamma_R$  è il coefficiente di sicurezza pari a 1.1

Allo stato limite di salvaguardia della vita si ha in fondazione il seguente carico verticale e taglio alla base:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf
SISMA X	Combination	Max	5.9208	1.4943	250.5819
SISMA X	Combination	Min	-5.9208	-1.4943	248.0455
SISMA Y	Combination	Max	1.9392	4.5046	249.8332
SISMA Y	Combination	Min	-1.9392	-4.5046	248.7942

Le risultanti:

$$T_{\text{base,comb.SLV-X,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 6.10 \text{ [ton]}$$

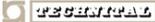
$$T_{\text{base,comb.SLV-Y,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 4.90 \text{ [ton]}$$

$$R_d = \frac{A \cdot C_u}{\gamma_R} = \frac{(0.6 \cdot 7.5 \cdot 5) \cdot 10}{1.1} = 20 \text{ [ton]}$$

La verifica a scorrimento è soddisfatta:

$$F_{h,SLV} = 6.10 \text{ [ton]} \leq R_d = 20 \text{ [ton]}$$

**[OK, Verificato]**

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE    ARCHITETTI ASSOCIATI	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>73 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	73 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	73 di 120								

#### 11.4.1.2 Verifica dei cedimenti allo SLE

In questo punto si riporta il calcolo dei cedimenti allo stato limite di esercizio. Il limite di cedimento posto da NTC del 2018 è assunto pari ad:

$$w_{lim} = 50 \text{ [mm]}$$

Allo stato limite di esercizio sulla fondazione è presente un carico concentrato pari ad:

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
SLE ENV	Combination	Max	-3.744E-14	1.279E-12	181.6916	-0.69934	5.1686

$$Q_{sle} = 182 \text{ [ton]}$$

$$M_{x,sle} = 0,7 \text{ [tonm]}$$

$$M_{y,sle} = 5,17 \text{ [tonm]}$$

#### Verifiche Cedimenti Edometrici

Piano	Rettangolo	Fam	Cmb	q	qN	$\sigma'v0$	WTot
k.Wink.							
[N/cm <sup>3</sup> ]	fondazione			[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]
0	Trave 1						
sez.0	4	1	98213	88381	9832	12.047	8.1525
0	Trave 1						
sez.1	4	1	98218	88386	9832	12.048	8.1526
0	Trave 1						
sez.2	4	1	98223	88391	9832	12.048	8.1526
0	Trave 2						
sez.0	4	1	98225	88393	9832	12.049	8.1524
0	Trave 2						
sez.1	4	1	98227	88395	9832	12.049	8.1523
0	Trave 2						
sez.2	4	1	98223	88391	9832	12.048	8.1526
0	Trave 3						
sez.0	4	1	98221	88389	9832	12.048	8.1526
0	Trave 3						
sez.1	4	1	98216	88384	9832	12.047	8.1525
0	Trave 3						
sez.2	4	1	98207	88375	9832	12.046	8.1526
0	Trave 4						
sez.0	4	1	103479	93647	9832	12.898	8.0226
0	Trave 4						
sez.1	4	1	103479	93647	9832	12.9	8.0219

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	74 di 120

0	Trave 4						
sez.2	4	1	103478	93646	9832	12.897	8.0232
0	Trave 5						
sez.0	4	1	103477	93645	9832	12.898	8.0229
0	Trave 5						
sez.1	4	1	103476	93644	9832	12.898	8.0228
0	Trave 5						
sez.2	4	1	103474	93642	9832	12.897	8.0233
0	Trave 6						
sez.0	4	1	103476	93644	9832	12.898	8.0229
0	Trave 6						
sez.1	4	1	103477	93645	9832	12.898	8.0228
0	Trave 6						
sez.2	4	1	103479	93647	9832	12.897	8.0232
0	Trave 7						
sez.0	4	1	117019	107187	9832	14.961	7.8214
0	Trave 7						
sez.1	4	1	117008	107176	9832	14.962	7.8203
0	Trave 7						
sez.2	4	1	116999	107167	9832	14.957	7.8224
0	Trave 8						
sez.0	4	1	116997	107165	9832	14.958	7.8217
0	Trave 8						
sez.1	4	1	116992	107160	9832	14.958	7.8214
0	Trave 8						
sez.2	4	1	116981	107149	9832	14.955	7.8223
0	Trave 9						
sez.0	4	1	117013	107181	9832	14.96	7.8218
0	Trave 9						
sez.1	4	1	117018	107185	9832	14.961	7.8215
0	Trave 9						
sez.2	4	1	117020	107188	9832	14.96	7.8225
0	Trave 10						
sez.0	4	1	177113	167281	9832	24.08	7.3553
0	Trave 10						
sez.1	4	1	177295	167463	9832	24.1	7.3567
0	Trave 10						
sez.2	4	1	177429	167597	9832	24.116	7.3572
0	Trave 11						
sez.0	4	1	176487	166655	9832	24.01	7.3505
0	Trave 11						
sez.1	4	1	176277	166445	9832	23.82	7.4003
0	Trave 11						
sez.2	4	1	176061	166229	9832	23.797	7.3986
0	Trave 12						
sez.0	4	1	176494	166662	9832	24.011	7.3505
0	Trave 12						
sez.1	4	1	176650	166818	9832	24.028	7.3517
0	Trave 12						
sez.2	4	1	176933	167101	9832	24.06	7.3539
0	Trave 13						
sez.0	4	1	177309	167477	9832	24.103	7.3564
0	Trave 13						
sez.1	4	1	177063	167231	9832	24.075	7.3547
0	Trave 13						
sez.2	4	1	176689	166857	9832	24.033	7.352
0	Trave 14						
sez.0	4	1	117011	107179	9832	14.96	7.8214
0	Trave 14						
sez.1	4	1	117001	107169	9832	14.961	7.8202
0	Trave 14						
sez.2	4	1	116991	107159	9832	14.956	7.8224
0	Trave 15						
sez.0	4	1	116989	107157	9832	14.957	7.8216
0	Trave 15						

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	75 di 120

sez.1	4	1	116984	107152	9832	14.957	7.8213
0	Trave 15						
sez.2	4	1	116973	107141	9832	14.954	7.8223
0	Trave 16						
sez.0	4	1	117004	107172	9832	14.959	7.8217
0	Trave 16						
sez.1	4	1	117009	107177	9832	14.96	7.8215
0	Trave 16						
sez.2	4	1	117012	107180	9832	14.959	7.8224
0	Trave 17						
sez.0	4	1	103475	93643	9832	12.898	8.0226
0	Trave 17						
sez.1	4	1	103474	93642	9832	12.899	8.0218
0	Trave 17						
sez.2	4	1	103474	93642	9832	12.897	8.0232
0	Trave 18						
sez.0	4	1	103473	93641	9832	12.897	8.0229
0	Trave 18						
sez.1	4	1	103472	93640	9832	12.897	8.0228
0	Trave 18						
sez.2	4	1	103469	93637	9832	12.896	8.0233
0	Trave 19						
sez.0	4	1	103472	93640	9832	12.897	8.0229
0	Trave 19						
sez.1	4	1	103473	93641	9832	12.897	8.0228
0	Trave 19						
sez.2	4	1	103474	93642	9832	12.897	8.0232
0	Trave 20						
sez.0	4	1	98223	88391	9832	12.048	8.1524
0	Trave 20						
sez.1	4	1	98224	88392	9832	12.049	8.1522
0	Trave 20						
sez.2	4	1	98221	88389	9832	12.048	8.1526
0	Trave 21						
sez.0	4	1	98218	88386	9832	12.048	8.1526
0	Trave 21						
sez.1	4	1	98214	88382	9832	12.047	8.1525
0	Trave 21						
sez.2	4	1	98204	88372	9832	12.046	8.1526
0	Trave 22						
sez.0	4	1	98210	88378	9832	12.047	8.1525
0	Trave 22						
sez.1	4	1	98216	88384	9832	12.047	8.1525
0	Trave 22						
sez.2	4	1	98221	88389	9832	12.048	8.1526

Si calcola un cedimento massimo allo stato limite di esercizio pari ad:

$$w = 24 \text{ [mm]}$$

La verifica è soddisfatta:

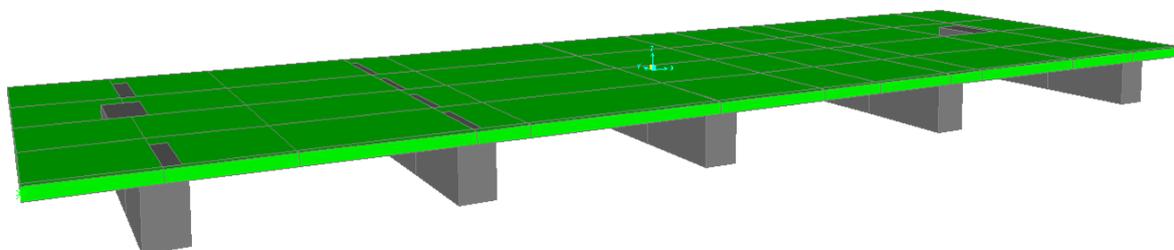
$$w = 24 \text{ [mm]} \leq w_{lim} = 50 \text{ [mm]}$$

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>76 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	76 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	76 di 120								

### 11.4.2 Verifica della fondazione

L'opera in fondazione è composta da travi di fondazione in calcestruzzo gettato in opera collegate in testa grazie ad una soletta sempre in calcestruzzo armato non appoggiata a terra.



Le sollecitazioni presenti sulla platea sono influenzate dall'iterazione tra terreno e fondazione, pertanto le verifiche di resistenza riportate al presente punto sono condotte considerando le sollecitazioni calcolate mediante modello con fondazione rigida e flessibile.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>77 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	77 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	77 di 120								

#### 11.4.2.1.1 Verifica Travi di fondazione

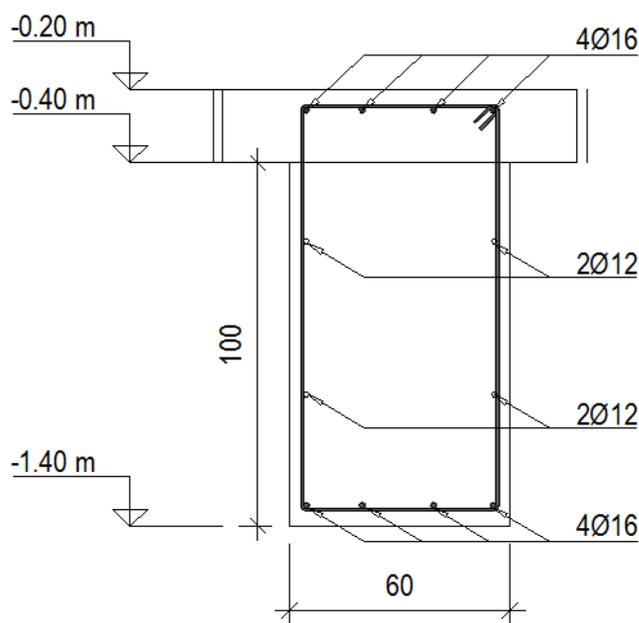
Al presente punto si riporta la verifica di resistenza delle travi di fondazione a flessione e taglio. Le sollecitazioni sono calcolate considerando la fondazione come rigida in modo da massimizzare le sollecitazioni sugli elementi resistenti presenti in fondazione.

##### 11.4.2.1.1.1 *Verifica a flessione fondazione rigida*

La verifica a flessione viene condotta con le sollecitazioni calcolate mediante la combinazione più gravosa, che in questo specifico caso è allo stato limite di salvaguardia della vita SLV. Le travi presentano la seguente geometria e armatura:

4 + 4Ø16 barre longitudinali

1Ø8/20 Staffe a 2 braccia



**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

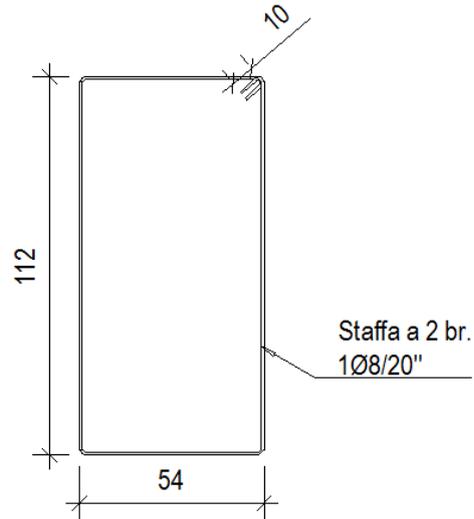
FA4700106

REV.

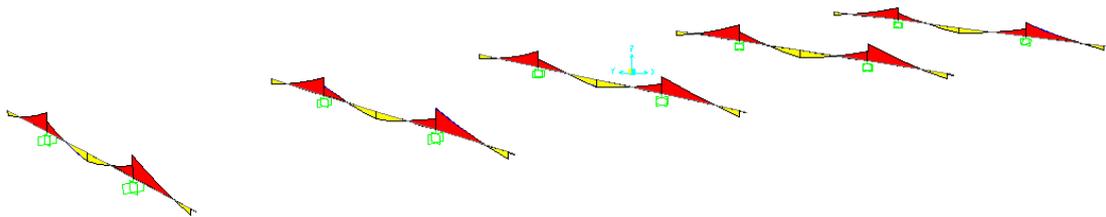
B

FOGLIO

78 di 120



SLU:



$$M_{max} = 8.62 [tm]$$

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

FA4700106

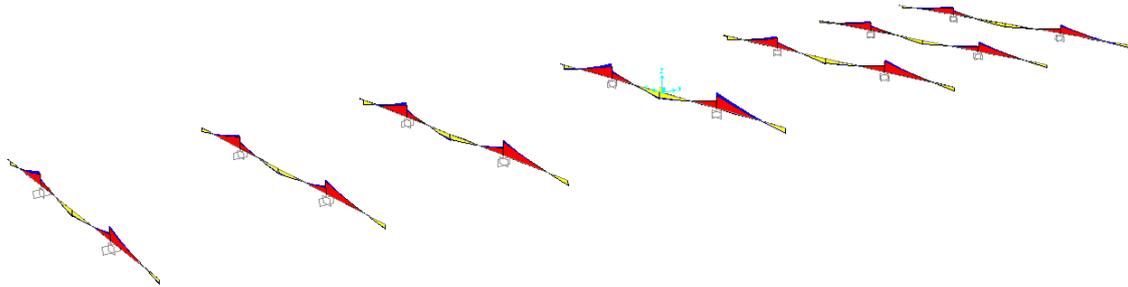
REV.

B

FOGLIO

79 di 120

SLV:



$$M_{max} = 11 [tm]$$

Il momento resistente della trave è il seguente:

Software interface for structural analysis showing material properties, section characteristics, and calculation results.

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	60	100	1	6,16	90

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

Materiali:

Proprietà	B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ [%]	67,5	2
$f_{yd}$ [N/mm²]	391,3	3,5
$E_s$ [N/mm²]	200.000	14,17
$E_s/E_c$	15	0,8
$\epsilon_{syd}$ [%]	1,957	9,75
$\sigma_{s,adm}$ [N/mm²]	255	0,6
$\tau_{c1}$	1,829	

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

Tipo flessione: Retta

Calcola MRd: 213,3 kNm

Domino M-N: N° rett. 100

La verifica è soddisfatta:

$$M_{Ed} = 11 [tm] \leq M_{Rd} = 21 [tm]$$

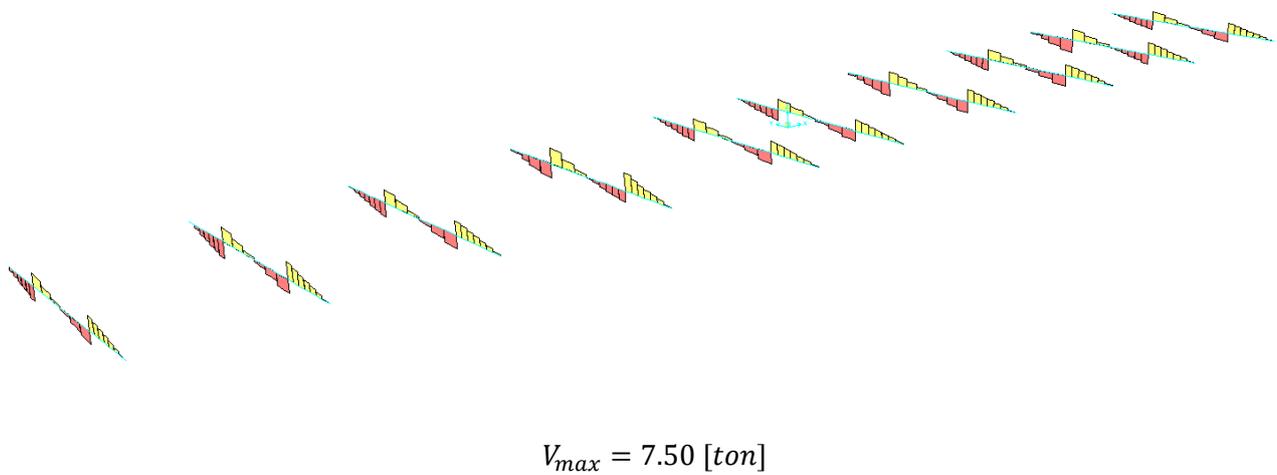
**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>80 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	80 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	80 di 120								

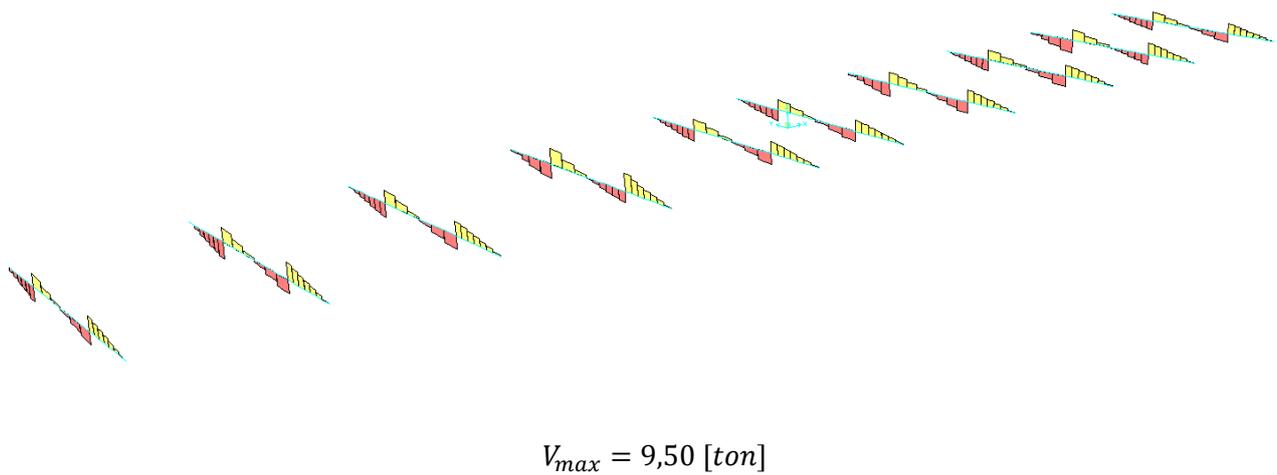
### 11.4.2.1.1.2 Verifica a taglio fondazione Rigida

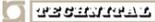
Al presente punto si verifica la trave di fondazione a taglio. Le sollecitazioni massime sono le seguenti:

SLU:



SLV:



 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">81 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	81 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	81 di 120								

La capacità a taglio della sezione è la seguente:

VERIFICA A TAGLIO TRAVE IN C.A								
TAGLIO DI PROGETTO Ved (kg)							17500	
LUNGHEZZA TRAVE (m)							1.00	
CALCOLO Passo staffe								
d	Asw	fyd	ctg(teta)	ctg(alfa)	sen(alfa)	Vrsd	s	
(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Mpa)	(/)	(/)	(/)	(N)	(mm)	
1120	100.48	391	1	0.00	1	175000	226	
						198010	200	
Area As (mm <sup>2</sup> )							804	
Ved<=As*fyd*sen(alfa) (N)							314364	VERIFICATO
fcd	bw	ni	alfa_c					
(Mpa)	(mm)	(/)	(/)					
14.16667	600	0.5	1					
ROTTURA LATO ACCIAIO SE E SOLO SE VRcd>VRsd (N)							2142000	VERIFICATO
Ved<=0.5*bw*Asw*ni*fcd (N)							2380000	VERIFICATO

Con una staffa da 8 mm ogni 20 cm si verifica una capacità a taglio pari ad:

$$V_{Rd} = 19,80 \text{ [ton]}$$

La verifica è soddisfatta:

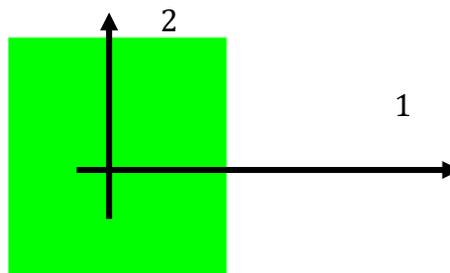
$$V_{Ed} = 9,50 \text{ [ton]} \leq M_{Rd} = 19,80 \text{ [ton]}$$

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>82 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	82 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	82 di 120								

### 11.4.3 Verifica Soletta di fondazione

Al presente punto si riporta la verifica a flessione della soletta. Per comprendere la direzione delle sollecitazioni sulla platea si considera il seguente sistema di riferimento:



**Direzione 1:**

In direzione 1 con un'armatura diffusa composta da:

1Ø12/20" (sopra)

1Ø12/20" (sotto)

Il momento resistente di una striscia di platea larga un metro è pari ad:

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	5,65	5
			2	5,65	15

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C25/30</b>
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67,5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input type="text" value="391,3"/> N/mm²	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3,5"/> ‰
E <sub>s</sub> <input type="text" value="200.000"/> N/mm²	f <sub>cd</sub> <input type="text" value="14,17"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0,8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input type="text" value="1,957"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="9,75"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0,6"/>
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="1,829"/>

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d

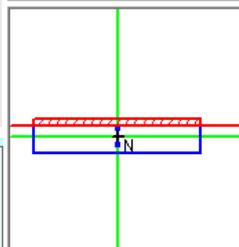
δ

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.



**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviate

N° rett.

Calcola MRd

L<sub>0</sub>  cm

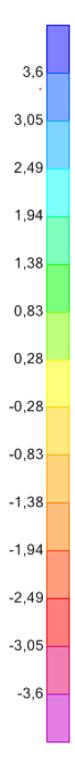
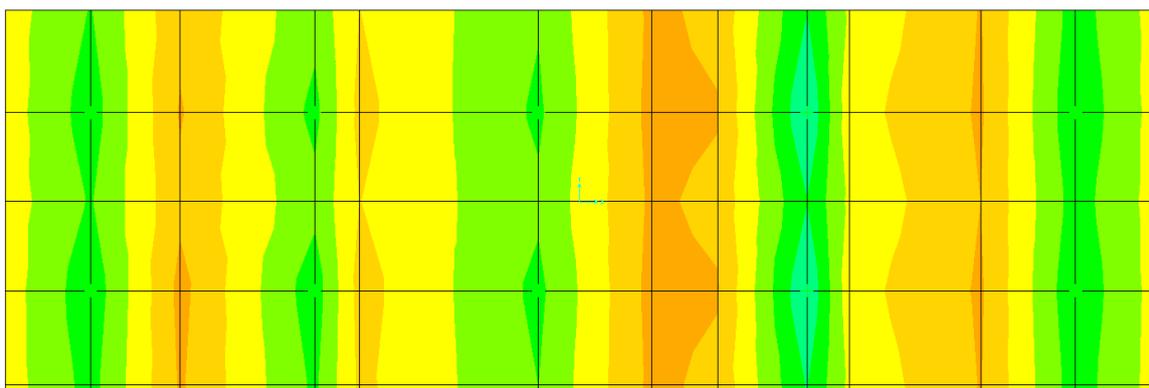
Precompresso

$$M_{Rd} = 3,6 \text{ [tm]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>83 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	83 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	83 di 120								

**Fondazione Rigida:**

Con il momento resistente calcolato si ha il rispetto della verifica di resistenza nelle zone campite dal fuxia al blu



*Momento Aree in Fuxia*  
 3,6 [tm]

*Momento Aree in Blu*  
 3,6 [tm]

**[OK, Verificato]**

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	84 di 120

## Direzione 2:

In direzione 2 con un'armatura diffusa composta da:

$1\varnothing 12/20''$  (sopra)

$1\varnothing 12/20''$  (sotto)

Il momento resistente di una striscia di platea larga un metro è pari ad:

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	5
2	5,65	15

**Tipo 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

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰

$f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰

$E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰

$E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?

$\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰

$\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   ‰

$\tau_{c1}$   ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm²

$\sigma_s$   N/mm²

$\epsilon_c$   ‰

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d   $\delta$

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

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

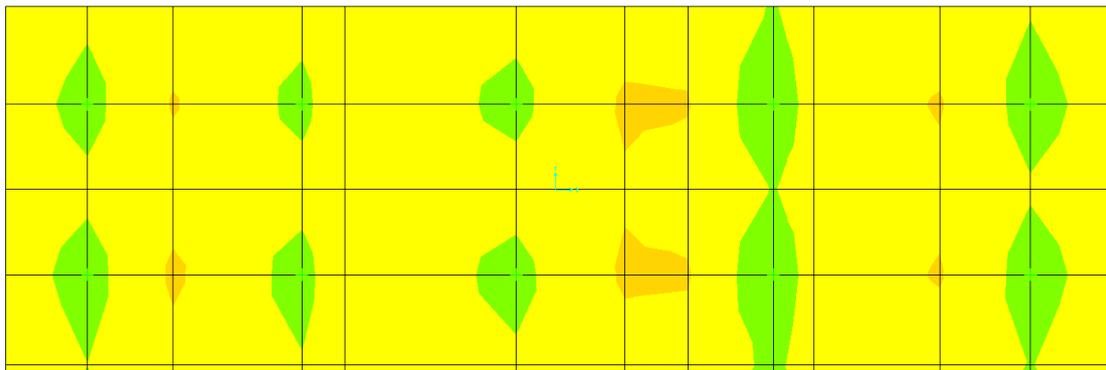
Precompresso

$$M_{Rd} = 3,6 \text{ [tm]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>85 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	85 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	85 di 120								

**Fondazione Rigida:**

Con il momento resistente calcolato si ha il rispetto della verifica di resistenza nelle zone campite dal fuxia al blu



*Momento Aree in Fuxia*  
 3,6 [tm]

*Momento Aree in Blu*  
 3,6 [tm]

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>86 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	86 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	86 di 120								

### 11.5 Analisi conclusive in merito alla verifica delle fondazioni

In seguito alle analisi svolte ed alle valutazioni effettuate sui risultati ottenuti in termini di resistenza e di deformabilità è possibile affermare che l'organismo strutturale così progettato e tutti gli elementi che lo compongono rispettano i limiti e le prestazioni richieste da normativa.

Inoltre si dispone la seguente prescrizione:

**La relazione geologica a nostra disposizione non riporta delle indagini penetrometriche riferite al sito della costruzione. Pertanto nelle verifiche riportate ai punti precedenti si impiegano dei parametri geotecnici cautelativi i quali in fase esecutiva dovranno essere opportunamente verificati mediante prove geologiche in sito. Inoltre la fondazione oggetto di verifica è progettata considerando un andamento altimetrico del terreno pianeggiante. Nel caso in cui tale ipotesi non risulti essere verificata si deve necessariamente modificare la tipologia di fondazione inserendo pali e/o muri di sostegno.**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>87 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	87 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	87 di 120								

## 12. Verifica delle fondazioni- modello Brignole 2

Nella presente relazione di calcolo si riportano le verifiche inerenti alla sola struttura di fondazione intese come:

- Verifiche strutturali
- Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono svolte come previsto dalla NTC del 2018 al punto 6.4.3.1 seguendo la combinazione di calcolo:

**A1+M1+R3**

**Si precisa come la relazione geologica a nostra disposizione non riporti delle indagini penetrometriche riferite al sito della costruzione. Pertanto nelle verifiche riportate nei seguenti punti si impiegano dei parametri geotecnici cautelativi i quali in fase esecutiva dovranno essere opportunamente verificati mediante prove geologiche in sito. Inoltre la fondazione oggetto di verifica è progettata considerando un andamento altimetrico del terreno pianeggiante. Nel caso in cui tale ipotesi non risulti essere verificata si deve necessariamente modificare la tipologia di fondazione inserendo pali e/o muri di sostegno.**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">88 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	88 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	88 di 120								

## 12.1 CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

Le caratteristiche meccaniche del terreno presente in sito sono le seguenti:

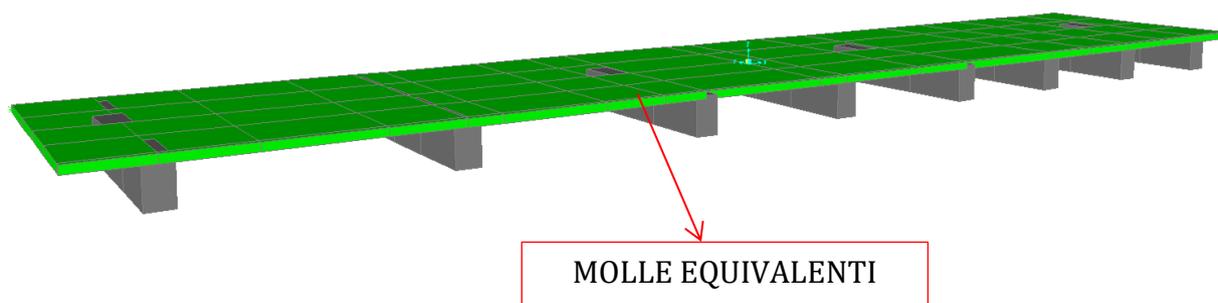
- Strato di Terreno argilloso spesso 15 m avente:

N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$\varphi'_{cv}$ [°]	Dr [%]	IC	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$v$	NSPT	OCR	$\Delta\sigma'_p$ [kPa]	$E_{ed}$ [MPa]	CR	RR	CR/RR	FC [%]
1	omogeneo	limo	fine	argillosa	15	18	25	25	1	0.4	8	100	0.3	30	1		5			8	0

**Vista la presenza di un terreno principalmente a grana fine, si ritiene opportuno considerare la posizione della falda alla quota del piano di posa della fondazione.**

## 12.2 Modello di Calcolo della Fondazione con Winkler

La fondazione dell'opera è analizzata mediante apposito modello agli elementi finiti in cui i vincoli di incastro perfetto sono sostituiti da apposite molle dotate di opportuna rigidità a simulare l'iterazione tra travi di fondazione ed il terreno. Si riporta nell'immagine sottostante la fondazione impiegata:



L'iterazione tra la struttura di fondazione e il terreno è stata condotta tramite il modello di Winkler. Il calcolo della rigidità da assegnare alla molla è condotto calcolando prima il cedimento medio al di sotto del centro della fondazione. Noto il cedimento si calcola la rigidità della molla con il rapporto tra il carico distribuito presente sulla platea ed il cedimento

$$K_w = \frac{\Delta q_{slu}}{W}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">89 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	89 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	89 di 120								

### 12.2.1 Calcolo della costante elastica di Winkler

Considerando la combinazione quasi permanente è presente in fondazione, in corrispondenza del baricentro delle masse della sovrastruttura, un carico concentrato pari ad:

TABLE: Base Reactions						
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY
Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
quasi permanente	Combination	9.599E-13	2.87E-13	389.4714	0.32027	-2.13932

$$Q_{\text{quasi permanente}} = 389 \text{ [ton]}$$

$$M_{x,slu} = 0,32 \text{ [tonm]}$$

$$M_{y,slu} = 2,14 \text{ [tonm]}$$

Tale risultante dei carichi è desunta considerando sulla fondazione la presenza:

- Pensilina del capolinea
- Box sottostanti alla pensilina del capolinea

La fondazione è composta da travi spesse 60 cm e profonde circa 100 cm collegate in testa mediante soletta in calcestruzzo spessa 20 cm non appoggiata a terra. Il piano di posa della fondazione è posto a quota -1.40 m dal piano campagna. Il terreno su cui poggia la fondazione è composto principalmente da terreno coesivo. Il calcolo dei cedimenti avviene mediante il metodo Edometrico. Si riporta la stratigrafia ipotizzata per il sito di costruzione dell'opera:

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	90 di 120

## Stratigrafie

N	Descrizione	falda [m]	Strati
1	Tipo A		0 1 strati: Htot =15

### Strati stratigrafia Tipo A (1 strati: Htot =15)

N	Descrizione	Classe	Tipo	Classe 2	Potenza [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$\varphi'_{cv}$ [°]	Dr [%]	IC	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	v	NSPT	OCR	$\Delta\sigma'_p$ [kPa]	Eed [MPa]	CR	RR	CR/RR	FC [%]
1	omogeneo	limo	fine	argillosa	15	18	25	25	1	0.4	8	100	0.3	30	1		5			8	0

Si riporta il calco del cedimento:

### Verifiche Cedimenti Edometrici

Piano	Rettagolo	Fam	Cmb	q	qN	$\sigma'_{v0}$	WTot
k.Wink.							
	fondazione			[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]
[N/cm <sup>3</sup> ]							
0	Trave 1						
sez.0	4	1	105958	96126	9832	13.308	7.9618
0	Trave 1						
sez.1	4	1	105973	96141	9832	13.31	7.9617
0	Trave 1						
sez.2	4	1	105985	96153	9832	13.311	7.9622
0	Trave 2						
sez.0	4	1	105991	96159	9832	13.313	7.9617
0	Trave 2						
sez.1	4	1	105997	96165	9832	13.314	7.9611
0	Trave 2						
sez.2	4	1	105985	96153	9832	13.311	7.9622
0	Trave 3						
sez.0	4	1	105979	96147	9832	13.311	7.9619
0	Trave 3						
sez.1	4	1	105968	96136	9832	13.31	7.9617
0	Trave 3						
sez.2	4	1	105942	96110	9832	13.306	7.9621
0	Trave 4						
sez.0	4	1	122209	112377	9832	15.817	7.7264
0	Trave 4						
sez.1	4	1	122205	112373	9832	15.817	7.7262
0	Trave 4						
sez.2	4	1	122212	112380	9832	15.817	7.7265
0	Trave 5						
sez.0	4	1	122214	112382	9832	15.818	7.7265
0	Trave 5						
sez.1	4	1	122216	112384	9832	15.818	7.7265
0	Trave 5						
sez.2	4	1	122216	112384	9832	15.818	7.7266
0	Trave 6						
sez.0	4	1	122217	112385	9832	15.818	7.7265
0	Trave 6						
sez.1	4	1	122216	112384	9832	15.818	7.7265
0	Trave 6						
sez.2	4	1	122212	112380	9832	15.817	7.7265
0	Trave 7						
sez.0	4	1	122833	113001	9832	15.888	7.7314
0	Trave 7						

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	91 di 120

sez.1	4	1	122825	112993	9832	15.887	7.7313
0	Trave 7						
sez.2	4	1	122831	112999	9832	15.887	7.7314
0	Trave 8						
sez.0	4	1	122833	113001	9832	15.888	7.7314
0	Trave 8						
sez.1	4	1	122833	113001	9832	15.888	7.7314
0	Trave 8						
sez.2	4	1	122829	112997	9832	15.887	7.7314
0	Trave 9						
sez.0	4	1	122841	113009	9832	15.889	7.7314
0	Trave 9						
sez.1	4	1	122841	113009	9832	15.889	7.7314
0	Trave 9						
sez.2	4	1	122837	113005	9832	15.888	7.7314
0	Trave 10						
sez.0	4	1	144442	134610	9832	19.182	7.5299
0	Trave 10						
sez.1	4	1	144638	134806	9832	19.205	7.5313
0	Trave 10						
sez.2	4	1	144016	134184	9832	19.134	7.5267
0	Trave 11						
sez.0	4	1	143850	134018	9832	19.116	7.5251
0	Trave 11						
sez.1	4	1	143675	133843	9832	19.096	7.5236
0	Trave 11						
sez.2	4	1	143495	133663	9832	18.927	7.5817
0	Trave 12						
sez.0	4	1	143916	134084	9832	19.123	7.5256
0	Trave 12						
sez.1	4	1	144051	134219	9832	19.139	7.5267
0	Trave 12						
sez.2	4	1	144293	134461	9832	19.165	7.5289
0	Trave 13						
sez.0	4	1	101947	92115	9832	12.723	8.0126
0	Trave 13						
sez.1	4	1	101945	92112	9832	12.725	8.0113
0	Trave 13						
sez.2	4	1	101943	92111	9832	12.721	8.0137
0	Trave 14						
sez.0	4	1	101940	92108	9832	12.722	8.013
0	Trave 14						
sez.1	4	1	101936	92104	9832	12.722	8.0127
0	Trave 14						
sez.2	4	1	101926	92094	9832	12.719	8.0138
0	Trave 15						
sez.0	4	1	101938	92106	9832	12.722	8.013
0	Trave 15						
sez.1	4	1	101943	92111	9832	12.723	8.0127
0	Trave 15						
sez.2	4	1	101947	92115	9832	12.722	8.0137
0	Trave 16						
sez.0	4	1	90220	80388	9832	10.888	8.2863
0	Trave 16						
sez.1	4	1	90220	80388	9832	10.889	8.2854
0	Trave 16						
sez.2	4	1	90220	80388	9832	10.887	8.287
0	Trave 17						
sez.0	4	1	90219	80387	9832	10.887	8.2867
0	Trave 17						
sez.1	4	1	90219	80387	9832	10.887	8.2865
0	Trave 17						
sez.2	4	1	90217	80385	9832	10.886	8.2871
0	Trave 18						
sez.0	4	1	90218	80386	9832	10.887	8.2867

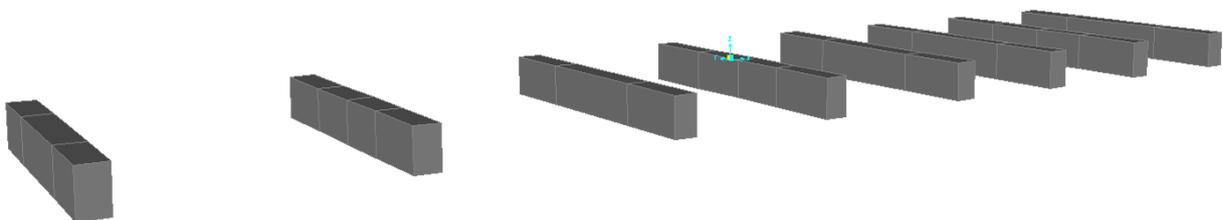
**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	92 di 120

0	Trave 18							
sez.1	4	1	90219	80387	9832	10.887	8.2865	
0	Trave 18							
sez.2	4	1	90220	80388	9832	10.887	8.287	
0	Trave 19							
sez.0	4	1	85373	75541	9832	10.097	8.4555	
0	Trave 19							
sez.1	4	1	85372	75540	9832	10.097	8.4551	
0	Trave 19							
sez.2	4	1	85373	75541	9832	10.096	8.4558	
0	Trave 20							
sez.0	4	1	85373	75541	9832	10.096	8.4557	
0	Trave 20							
sez.1	4	1	85373	75541	9832	10.097	8.4556	
0	Trave 20							
sez.2	4	1	85373	75541	9832	10.096	8.4559	
0	Trave 21							
sez.0	4	1	85373	75541	9832	10.097	8.4557	
0	Trave 21							
sez.1	4	1	85373	75541	9832	10.097	8.4556	
0	Trave 21							
sez.2	4	1	85373	75541	9832	10.096	8.4558	
0	Trave 22							
sez.0	4	1	83270	73438	9832	9.7406	8.5488	
0	Trave 22							
sez.1	4	1	83270	73438	9832	9.7406	8.5488	
0	Trave 22							
sez.2	4	1	83270	73438	9832	9.7406	8.5488	
0	Trave 23							
sez.0	4	1	83269	73437	9832	9.7405	8.5487	
0	Trave 23							
sez.1	4	1	83267	73435	9832	9.7402	8.5487	
0	Trave 23							
sez.2	4	1	83262	73430	9832	9.7397	8.5488	
0	Trave 24							
sez.0	4	1	83265	73433	9832	9.74	8.5488	
0	Trave 24							
sez.1	4	1	83268	73436	9832	9.7403	8.5487	
0	Trave 24							
sez.2	4	1	83270	73438	9832	9.7406	8.5488	

Nella tabella precedente si riporta il carico agente su ciascuna trave, il relativo cedimento calcolato con anche il valore di rigidezza della molla. Tali valori di rigidezza sono assegnati alle travi di fondazione:



La costante di Winkler mediata tra tutte le travi è circa la seguente:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">93 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	93 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	93 di 120								

$$K_W = \frac{\Delta q_{slu}}{W} = 0,8 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]$$

### 12.3 Confronto tra modello con fondazione rigida e flessibile

Al presente punto si riporta il confronto tra il modello con fondazione rigida (vincoli di incastro perfetto) con cui si sono valutate le sollecitazioni sulla struttura in elevazione ed il modello con fondazione flessibile (vincoli con molle) con cui si verifica la struttura di fondazione. Prima di procedere in questo modo la NTC del 2018 richiede al punto 7.2.6 punto b) che la risultante di taglio alla base e di sforzo normale calcolata con la fondazione flessibile deve essere almeno pari al 70% della risultante di taglio alla base e sforzo normale calcolati con modello di calcolo con fondazione rigida e spettro di risposta con suolo di tipo A. Si dimostra nel seguito il rispetto di tale disuguaglianza:

#### **Fondazione rigida:**

Nel caso in esame i valori di taglio alla base e sforzo normale calcolati allo SLV con modello con fondazione rigida sono i seguenti:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf
SISMA X	Combination	Max	4.6459	0.8702	390.5577
SISMA X	Combination	Min	-4.6459	-0.8702	388.3852
SISMA Y	Combination	Max	1.4292	2.8496	389.8681
SISMA Y	Combination	Min	-1.4292	-2.8496	389.0747

Le risultanti:

$$T_{\text{base,comb.SLV-X,rigida}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 4.72 \text{ [ton]}$$

$$T_{\text{base,comb.SLV-Y,rigida}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 3.19 \text{ [ton]}$$

$$N_{\text{comb.SLV,rigida}} = 389 \text{ [ton]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z3	CODIFICA RH	DOCUMENTO FA4700106	REV. B	FOGLIO 94 di 120

### Fondazione flessibile:

Nel caso in esame i valori di taglio alla base e sforzo normale calcolati allo SLV con modello con fondazione flessibile sono i seguenti:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf
SISMA X	Combination	Max	9.1201	2.1676	390.9541
SISMA X	Combination	Min	-9.1201	-2.1676	387.9888
SISMA Y	Combination	Max	2.9635	6.6603	389.9787
SISMA Y	Combination	Min	-2.9635	-6.6603	388.9642

Le risultanti:

$$T_{\text{base,comb.SLV-X,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 9.37 \text{ [ton]}$$

$$T_{\text{base,comb.SLV-Y,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 7.28 \text{ [ton]}$$

$$N_{\text{comb.SLV,flessibile}} = 389 \text{ [ton]}$$

Il limite posto da NTC del 2018 posto pari al 70% delle risultanti di taglio alla base e sforzo normale è rispettato in quanto le sollecitazioni ottenute con la fondazione flessibile sono superiori a quelle ottenute con fondazione rigida e spettro di risposta con terreno di tipo A.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">95 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	95 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	95 di 120								

## 12.4 VERIFICHE DI RESISTENZA

Nel presente capitolo si riportano le verifiche strutturali e geotecniche richieste da NTC del 2018.

### 12.4.1 Verifiche di Resistenza Geotecnica (A1+M1+R3)

Le verifiche geotecniche consistono in:

- Verifica capacità portante della fondazione
- Verifica a scorrimento
- Verifica dei cedimenti (metodo edometrico).

#### 12.4.1.1 Verifica di Portanza della fondazione

Il calcolo della portanza viene condotta a lungo termine in condizioni drenate per quanto riguarda la combinazione allo stato limite ultimo e nel breve termine in condizioni non drenate per la combinazione sismica allo stato limite di salvaguardia della vita. Le sollecitazioni massime ottenute sulla fondazione sono calcolate allo stato limite ultimo e di salvaguardia della vita.

- SLU
- SLV

##### 12.4.1.1.1 Verifica di Portanza della fondazione allo SLU-CONDIZIONE DRENATE

La resistenza di progetto  $R_d$ , cioè in questo caso la tensione massima sopportabile dal terreno è calcolata:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">96 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	96 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	96 di 120								

Si procede al calcolo della portanza in condizioni drenate. La rottura di un terreno argilloso limoso viene determinata con il seguente cuneo di rottura:

Il qlim cioè la capacità portante del terreno dove poggia la fondazione è valutato mediante la formula di Brinch-Hansen:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot (s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma}) + c' \cdot N_c \cdot (s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c) + \sigma'_v \cdot N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q)$$

Il terreno di posa della fondazione ha le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Base della fondazione  $B = 0.60 \text{ m}$
- peso dell'unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito interno  $\varphi = 25^\circ$
- coesione efficace  $c' = 0.08 \text{ t/mq}$

Il piano di posa della fondazione si trova ad una distanza dal piano campagna pari ad:

$$h = 1.4 \text{ m}$$

inoltre esso non risulta essere inclinato quindi i fattori di forma b espressi in Brinch-Hansen vengono annullati:

$$b_c = b_q = 1$$

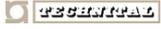
Anche il carico agente sulla fondazione non risulta essere, inclinato pertanto:

$$i_{\gamma} = i_c = i_q = 1$$

La fondazione ha i seguenti fattori di forma:

$$s_{\gamma} = 1.07$$

$$s_{\gamma} = s_q = 1.01$$



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	97 di 120

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot K_p \cdot \left(\frac{B}{L}\right) = 1.30$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">98 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	98 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	98 di 120								

I fattori di approfondimento sono:

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{d}{B} \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin \varphi)^2 = 1.37$$

$$d_c = 1 + 0.2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B} = 1.73$$

I coefficienti di capacità portante impiegati (Vesic) sono:

$$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 10.65$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi = 10.87$$

$$N_c = 20.70$$

Di conseguenza la capacità portante della fondazione risulta essere la seguente:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma) + c' \cdot N_c \cdot (s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c) + \sigma'_v \cdot N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q) =$$

$$q_{lim} = 0.54 [MPa]$$

Considerando un fattore di sicurezza pari ad:

<i>Tabella 6.4.1 – Coefficienti parziali <math>\gamma_R</math> per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali</i>			
VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE ( R1 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R2 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R3 )
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

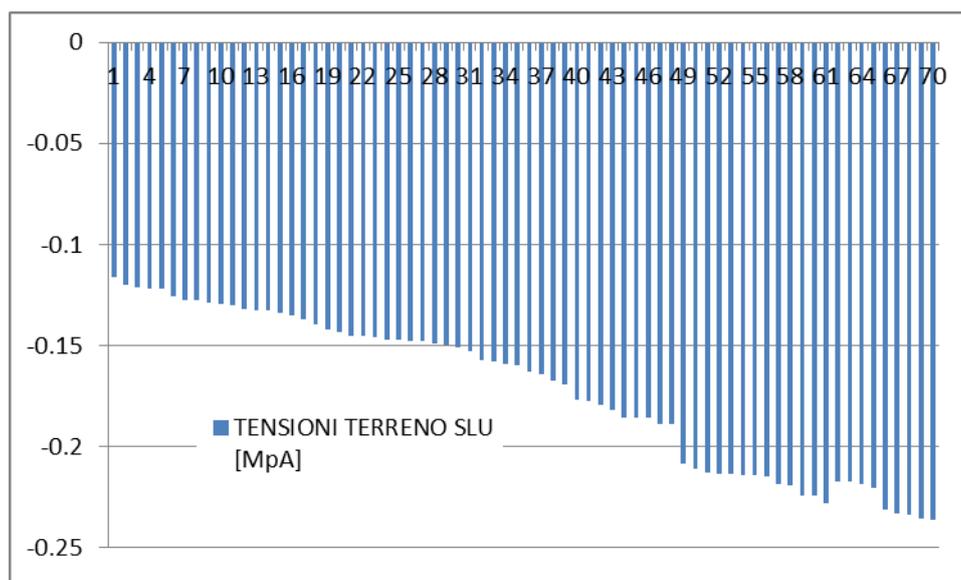
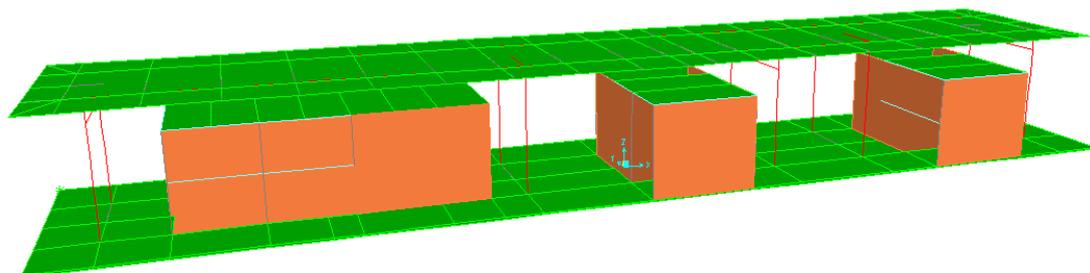
$$FS = 2.3$$

La capacità portante di progetto della fondazione è:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS} = 0.23 [MPa]$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>99 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	99 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	99 di 120								

La tensione massima agente sul terreno con costante di Winkler pari a 0,8 kg/cm<sup>3</sup>:



$$\sigma_t = 0.23 [MPa]$$

La verifica a capacità portante risulta quindi soddisfatta:

$$E_d = 0.23 [MPa] \leq R_d = 0.23 [MPa]$$

**OK, Verificato!**

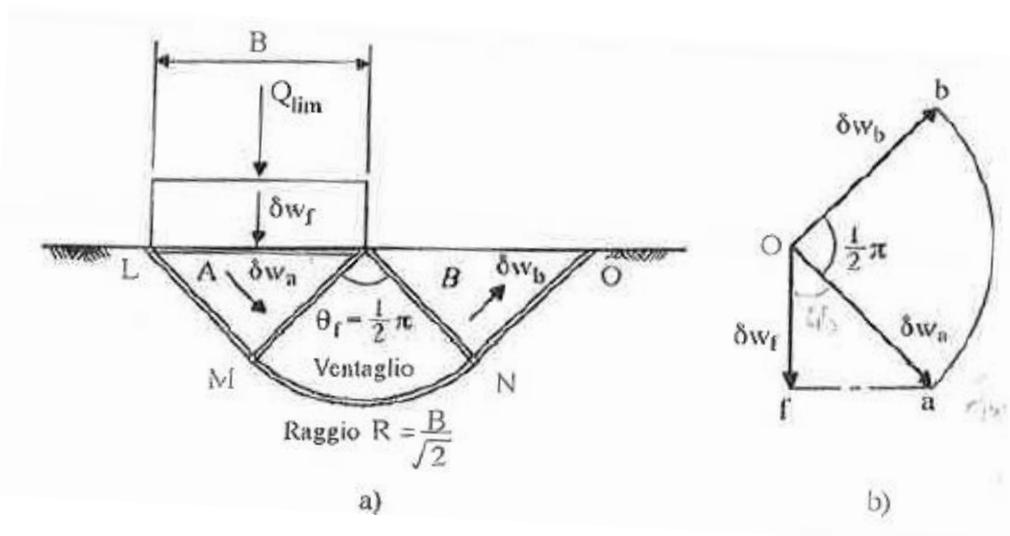
	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">100 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	100 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	100 di 120								

#### 12.4.1.1.2 Verifica di Portanza della fondazione allo SLV-CONDIZIONI NON DRENATE

La resistenza di progetto  $R_d$ , cioè in questo caso la tensione massima sopportabile dal terreno è calcolata:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS}$$

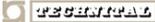
Si procede al calcolo della portanza in condizioni non drenate. In questo caso le sovrappressioni interstiziali non sono dissipate ( $\Delta u \neq 0$ ), pertanto la verifica viene condotta in termini di tensioni e parametri meccanici totali. La rottura di un terreno argilloso limoso viene determinata con il seguente cuneo di rottura:



Con tale meccanismo di rottura il carico limite della fondazione è il seguente:

$$q_{lim} = \frac{Q_{lim}}{B} = (2 + \pi) \cdot c_{ud} + \gamma_{sat} \cdot h$$

Con l'approccio numero uno si devono dividere le resistenze caratteristiche geotecniche per i coefficienti parziali dati da NTC del 2018 al punto 6.2.4.1.2:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE    ARCHITETTI ASSOCIATI	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>101 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	101 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	101 di 120								

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

Quindi:

$$c_{ud} = \frac{0.10}{1} = 0.10 \text{ MPa}$$

Il carico limite diviene:

$$q_{lim} = \frac{Q_{lim}}{B} = (2 + \pi) \cdot c_{ud} + \gamma_{sat} \cdot h = 0.514 + 0.0216 = 0.54 \text{ [MPa]}$$

Tale valore deve essere ridotto per il fattore di sicurezza FS posto pari ad:

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE ( R1 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R2 )	COEFFICIENTE PARZIALE ( R3 )
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

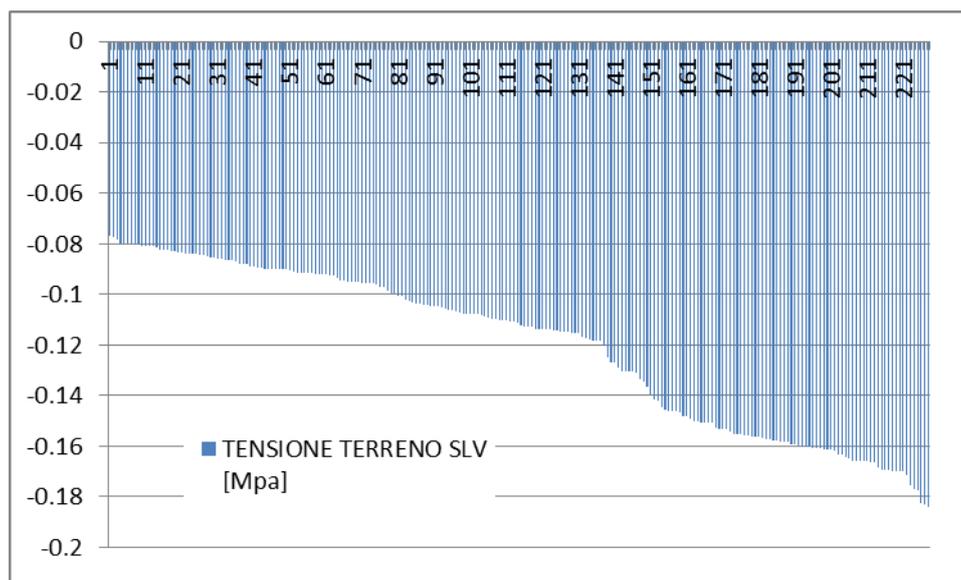
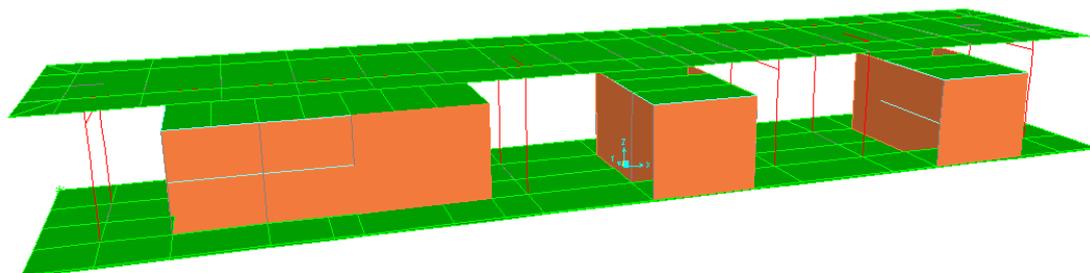
$$FS = 2.3$$

La capacità portante di progetto della fondazione è:

$$R_d = \frac{q_{lim}}{FS} = 0.23 \text{ [MPa]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>102 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	102 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	102 di 120								

La tensione massima agente sul terreno con costante di Winkler pari a  $0,8 \text{ kg/cm}^3$ :



$$\sigma_t = 0.18 [MPa]$$

La verifica a capacità portante risulta quindi soddisfatta:

$$E_d = 0.18 [MPa] \leq R_d = 0.23 [MPa]$$

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">103 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	103 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	103 di 120								

### 12.4.1.1.3 Verifica a Scorrimento allo SLV

La resistenza di progetto  $R_d$ , cioè in questo caso la capacità a scorrimento è calcolata con la sottostante espressione:

$$R_d = \frac{A \cdot C_u}{\gamma_R}$$

In cui:

- $A$  è l'area della fondazione
- $C_u$  è la resistenza a taglio non drenata
- $\gamma_R$  è il coefficiente di sicurezza pari a 1.1

Allo stato limite di salvaguardia della vita si ha in fondazione il seguente carico verticale e taglio alla base:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf
SISMA X	Combination	Max	9.1201	2.1676	390.9541
SISMA X	Combination	Min	-9.1201	-2.1676	387.9888
SISMA Y	Combination	Max	2.9635	6.6603	389.9787
SISMA Y	Combination	Min	-2.9635	-6.6603	388.9642

Le risultanti:

$$T_{\text{base,comb.SLV-X,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 9.37 \text{ [ton]}$$

$$T_{\text{base,comb.SLV-Y,flessibile}} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = 7.28 \text{ [ton]}$$

$$R_d = \frac{A \cdot C_u}{\gamma_R} = \frac{(0.6 \cdot 7.5 \cdot 8) \cdot 10}{1.1} = 327 \text{ [ton]}$$

La verifica a scorrimento è soddisfatta:

$$F_{h,SLV} = 9.37 \text{ [ton]} \leq R_d = 327 \text{ [ton]}$$

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">104 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	104 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	104 di 120								

#### 12.4.1.2 Verifica dei cedimenti allo SLE

In questo punto si riporta il calcolo dei cedimenti allo stato limite di esercizio. Il limite di cedimento posto da NTC del 2018 è assunto pari ad:

$$w_{lim} = 50 \text{ [mm]}$$

Allo stato limite di esercizio sulla fondazione è presente un carico concentrato pari ad:

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
SLE ENV	Combination	Max	7.9755	9.1157	468.489	13.60033	44.6277

$$Q_{sle} = 468 \text{ [ton]}$$

$$M_{x,sle} = 13,60 \text{ [tonm]}$$

$$M_{y,sle} = 44,63 \text{ [tonm]}$$

#### Verifiche Cedimenti Edometrici

Piano	Rettangolo	Fam	Cmb	q	qN	$\sigma'v0$	WTot
k.Wink.							
[N/cm <sup>3</sup> ]	fondazione			[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]
0	Trave 1						
sez.0	4	1	122628	112796	9832	15.867	7.7286
0	Trave 1						
sez.1	4	1	122646	112814	9832	15.869	7.7286
0	Trave 1						
sez.2	4	1	122661	112829	9832	15.87	7.7291
0	Trave 2						
sez.0	4	1	122668	112836	9832	15.872	7.7286
0	Trave 2						
sez.1	4	1	122676	112844	9832	15.874	7.7281
0	Trave 2						
sez.2	4	1	122661	112829	9832	15.87	7.7291
0	Trave 3						
sez.0	4	1	122654	112822	9832	15.87	7.7288
0	Trave 3						
sez.1	4	1	122640	112808	9832	15.868	7.7286
0	Trave 3						
sez.2	4	1	122608	112776	9832	15.864	7.7289
0	Trave 4						
sez.0	4	1	143210	133378	9832	18.895	7.5792
0	Trave 4						
sez.1	4	1	143205	133373	9832	18.895	7.579
0	Trave 4						

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	105 di 120

sez.2	4	1	143213	133381	9832	18.895	7.5794
0	Trave 5						
sez.0	4	1	143215	133383	9832	18.896	7.5793
0	Trave 5						
sez.1	4	1	143217	133385	9832	18.896	7.5793
0	Trave 5						
sez.2	4	1	143216	133384	9832	18.895	7.5794
0	Trave 6						
sez.0	4	1	143218	133386	9832	18.896	7.5794
0	Trave 6						
sez.1	4	1	143217	133385	9832	18.896	7.5793
0	Trave 6						
sez.2	4	1	143213	133381	9832	18.895	7.5794
0	Trave 7						
sez.0	4	1	150854	141022	9832	20.05	7.5239
0	Trave 7						
sez.1	4	1	150837	141005	9832	20.049	7.5236
0	Trave 7						
sez.2	4	1	150854	141022	9832	20.049	7.5241
0	Trave 8						
sez.0	4	1	150861	141029	9832	20.051	7.524
0	Trave 8						
sez.1	4	1	150867	141035	9832	20.051	7.524
0	Trave 8						
sez.2	4	1	150866	141034	9832	20.051	7.5242
0	Trave 9						
sez.0	4	1	150881	141049	9832	20.053	7.5242
0	Trave 9						
sez.1	4	1	150877	141045	9832	20.053	7.5241
0	Trave 9						
sez.2	4	1	150863	141031	9832	20.05	7.5242
0	Trave 10						
sez.0	4	1	198434	188602	9832	27.108	7.3202
0	Trave 10						
sez.1	4	1	198875	189042	9832	27.337	7.275
0	Trave 10						
sez.2	4	1	197736	187904	9832	27.031	7.3152
0	Trave 11						
sez.0	4	1	197432	187600	9832	26.998	7.3127
0	Trave 11						
sez.1	4	1	197110	187278	9832	26.964	7.3103
0	Trave 11						
sez.2	4	1	196783	186951	9832	26.927	7.3079
0	Trave 12						
sez.0	4	1	197437	187605	9832	26.999	7.3127
0	Trave 12						
sez.1	4	1	197690	187858	9832	27.027	7.3146
0	Trave 12						
sez.2	4	1	198146	188314	9832	27.076	7.3183
0	Trave 13						
sez.0	4	1	125640	115808	9832	16.348	7.6852
0	Trave 13						
sez.1	4	1	125636	115804	9832	16.351	7.6838
0	Trave 13						
sez.2	4	1	125633	115801	9832	16.345	7.6865
0	Trave 14						
sez.0	4	1	125629	115797	9832	16.346	7.6856
0	Trave 14						
sez.1	4	1	125620	115788	9832	16.346	7.6852
0	Trave 14						
sez.2	4	1	125603	115771	9832	16.341	7.6865
0	Trave 15						
sez.0	4	1	125623	115791	9832	16.345	7.6856
0	Trave 15						
sez.1	4	1	125632	115800	9832	16.347	7.6853

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
 STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	106 di 120

0	Trave 15							
sez.2	4	1	125639	115807	9832	16.345	7.6865	
0	Trave 16							
sez.0	4	1	106796	96964	9832	13.405	7.967	
0	Trave 16							
sez.1	4	1	106796	96964	9832	13.406	7.966	
0	Trave 16							
sez.2	4	1	106795	96963	9832	13.403	7.9679	
0	Trave 17							
sez.0	4	1	106794	96962	9832	13.404	7.9675	
0	Trave 17							
sez.1	4	1	106792	96960	9832	13.404	7.9673	
0	Trave 17							
sez.2	4	1	106789	96957	9832	13.402	7.968	
0	Trave 18							
sez.0	4	1	106791	96959	9832	13.403	7.9675	
0	Trave 18							
sez.1	4	1	106793	96961	9832	13.404	7.9673	
0	Trave 18							
sez.2	4	1	106795	96963	9832	13.403	7.9679	
0	Trave 19							
sez.0	4	1	99079	89247	9832	12.268	8.0761	
0	Trave 19							
sez.1	4	1	99078	89246	9832	12.269	8.0756	
0	Trave 19							
sez.2	4	1	99079	89247	9832	12.268	8.0765	
0	Trave 20							
sez.0	4	1	99078	89246	9832	12.268	8.0763	
0	Trave 20							
sez.1	4	1	99078	89246	9832	12.268	8.0763	
0	Trave 20							
sez.2	4	1	99077	89245	9832	12.267	8.0766	
0	Trave 21							
sez.0	4	1	99078	89246	9832	12.268	8.0763	
0	Trave 21							
sez.1	4	1	99078	89246	9832	12.268	8.0763	
0	Trave 21							
sez.2	4	1	99079	89247	9832	12.268	8.0765	
0	Trave 22							
sez.0	4	1	95886	86054	9832	11.778	8.1412	
0	Trave 22							
sez.1	4	1	95887	86054	9832	11.778	8.1411	
0	Trave 22							
sez.2	4	1	95886	86054	9832	11.778	8.1413	
0	Trave 23							
sez.0	4	1	95884	86052	9832	11.778	8.1413	
0	Trave 23							
sez.1	4	1	95881	86049	9832	11.777	8.1413	
0	Trave 23							
sez.2	4	1	95875	86043	9832	11.776	8.1412	
0	Trave 24							
sez.0	4	1	95879	86047	9832	11.777	8.1412	
0	Trave 24							
sez.1	4	1	95882	86050	9832	11.777	8.1413	
0	Trave 24							
sez.2	4	1	95886	86054	9832	11.778	8.1413	

Si calcola un cedimento massimo allo stato limite di esercizio pari ad:

$$w = 28 \text{ [mm]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>107 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	107 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	107 di 120								

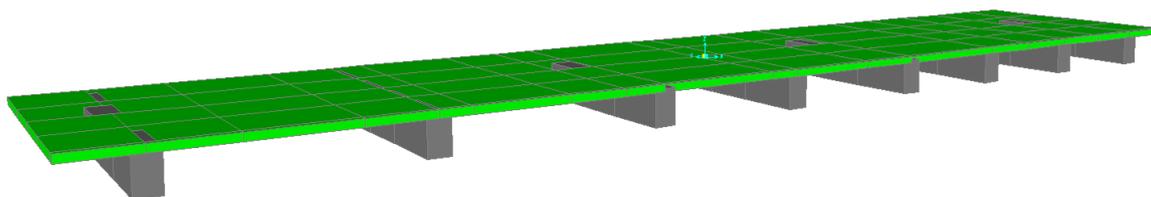
La verifica è soddisfatta:

$$w = 28 \text{ [mm]} \leq w_{lim} = 50 \text{ [mm]}$$

**[OK, Verificato]**

### 12.4.2 Verifica della fondazione

L'opera in fondazione è composta da travi di fondazione in calcestruzzo gettato in opera collegate in testa grazie ad una soletta sempre in calcestruzzo armato non appoggiata a terra.



Le sollecitazioni presenti sulla platea sono influenzate dall'iterazione tra terreno e fondazione, pertanto le verifiche di resistenza riportate al presente punto sono condotte considerando le sollecitazioni calcolate mediante modello con fondazione rigida e flessibile.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">108 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	108 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	108 di 120								

#### 12.4.2.1.1 Verifica Travi di fondazione

Al presente punto si riporta la verifica di resistenza delle travi di fondazione a flessione e taglio. Le sollecitazioni sono calcolate considerando la fondazione come rigida in modo da massimizzare le sollecitazioni sugli elementi resistenti presenti in fondazione.

##### 12.4.2.1.1.1 *Verifica a flessione fondazione rigida*

La verifica a flessione viene condotta con le sollecitazioni calcolate mediante la combinazione più gravosa, che in questo specifico caso è allo stato limite di salvaguardia della vita SLV. Le travi presentano la seguente geometria e armatura:

4 + 4Ø16 barre longitudinali

1Ø8/20 Staffe a 2 braccia

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

E21D

LOTTO

00 D Z3

CODIFICA

RH

DOCUMENTO

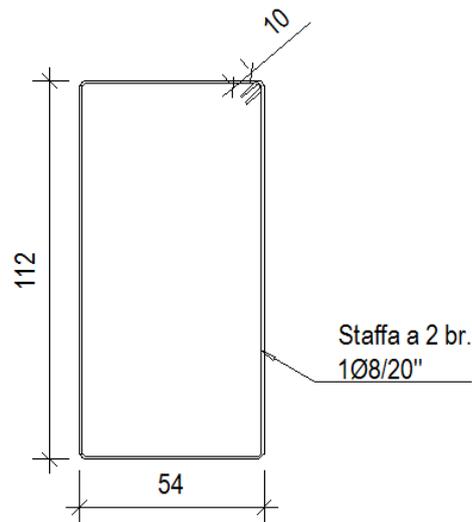
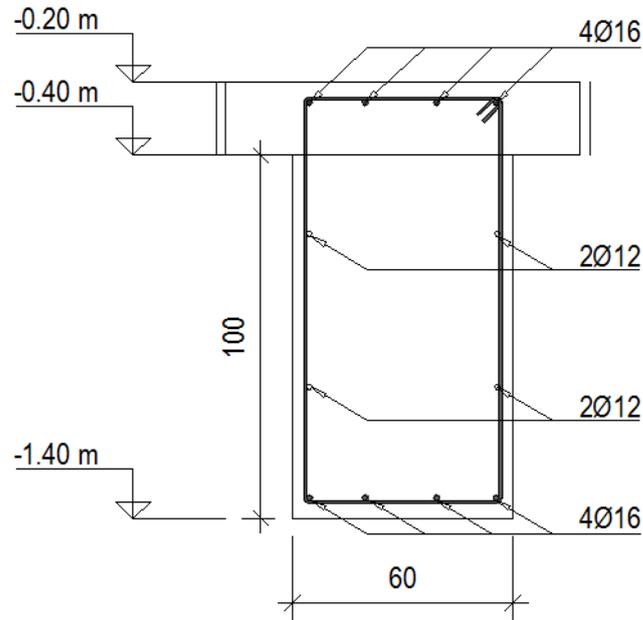
FA4700106

REV.

B

FOGLIO

109 di 120



SLU:

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

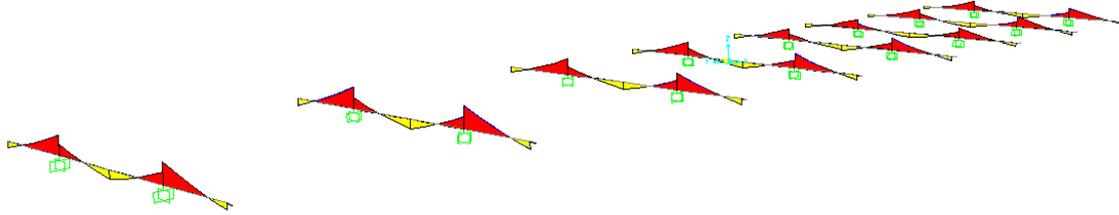
00 D Z3

RH

FA4700106

B

110 di 120



$$M_{max} = 20 [tm]$$

**NOME DOCUMENTO**

 AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E21D

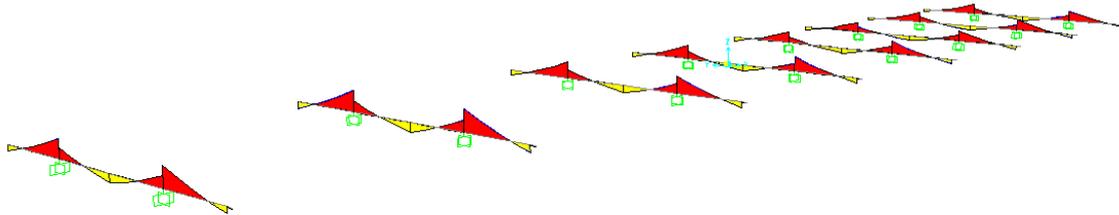
00 D Z3

RH

FA4700106

B

111 di 120

SLV:


$$M_{max} = 12 [tm]$$

Il momento resistente della trave è il seguente:

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	60	100	1	6,16	90

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

Materiali		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>	213,3	kN m
σ <sub>c</sub>	-14,17	N/mm²
σ <sub>s</sub>	391,3	N/mm²
ε <sub>c</sub>	2,86	‰
ε <sub>s</sub>	67,5	‰
d	90	cm
x	3,659	x/d
		0,04065
		δ
		0,7

La verifica è soddisfatta:

$$M_{Ed} = 20 [tm] \leq M_{Rd} = 21 [tm]$$

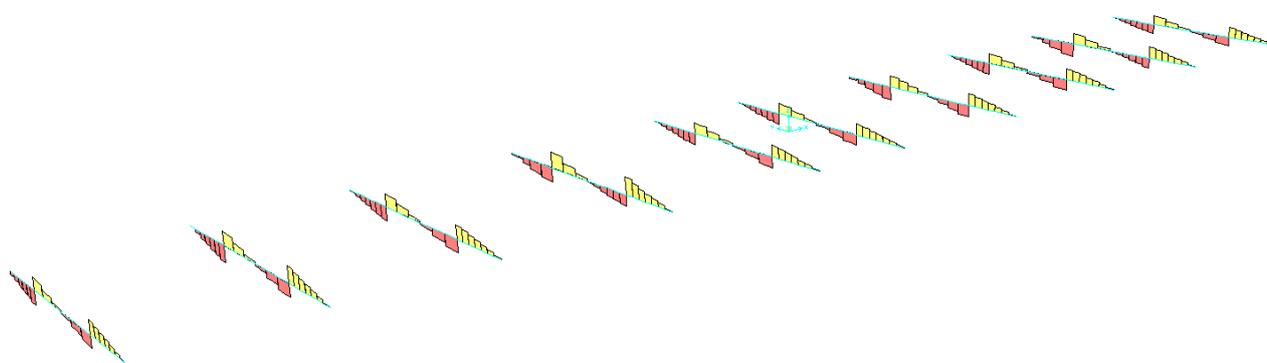
**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>112 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	112 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	112 di 120								

### 12.4.2.1.1.2 Verifica a taglio fondazione Rigida

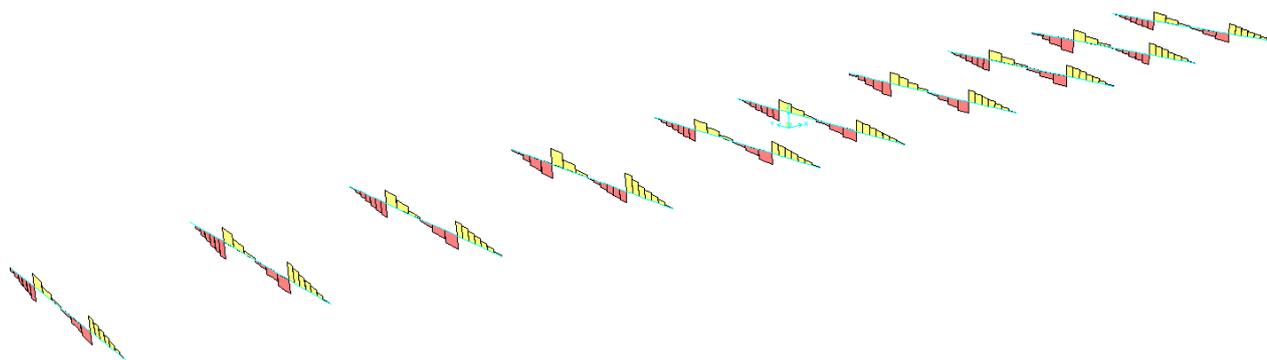
Al presente punto si verifica la trave di fondazione a taglio. Le sollecitazioni massime sono le seguenti:

SLU:

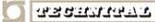


$$V_{max} = 13.30 \text{ [ton]}$$

SLV:



$$V_{max} = 9.85 \text{ [ton]}$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   Engineering and Technical Services S.p.A.  ARCHITETTI ASSOCIATI	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z3</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">FA4700106</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">113 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	113 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	113 di 120								

La capacità a taglio della sezione è la seguente:

VERIFICA A TAGLIO TRAVE IN C.A								
TAGLIO DI PROGETTO Ved (kg)							17500	
LUNGHEZZA TRAVE (m)							1.00	
CALCOLO Passo staffe								
d	Asw	fyd	ctg(teta)	ctg(alfa)	sen(alfa)	Vrsd	s	
(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Mpa)	(/)	(/)	(/)	(N)	(mm)	
1120	100.48	391	1	0.00	1	175000	226	
						198010	200	
Area As (mm <sup>2</sup> )							804	
Ved<=As*fyd*sen(alfa) (N)							314364	VERIFICATO
fcd	bw	ni	alfa_c					
(Mpa)	(mm)	(/)	(/)					
14.16667	600	0.5	1					
ROTTURA LATO ACCIAIO SE E SOLO SE VRcd>VRsd (N)							2142000	VERIFICATO
Ved<=0.5*bw*Asw*ni*fcd (N)							2380000	VERIFICATO

Con una staffa da 8 mm ogni 20 cm si verifica una capacità a taglio pari ad:

$$V_{Rd} = 19,80 \text{ [ton]}$$

La verifica è soddisfatta:

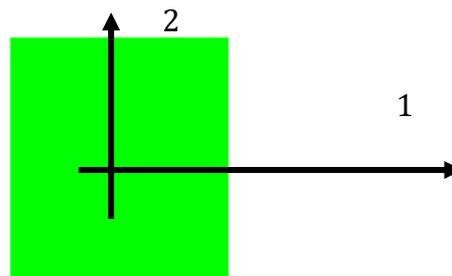
$$V_{Ed} = 13.30 \text{ [ton]} \leq M_{Rd} = 19,80 \text{ [ton]}$$

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>114 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	114 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	114 di 120								

### 12.4.3 Verifica Soletta di fondazione

Al presente punto si riporta la verifica a flessione della soletta. Per comprendere la direzione delle sollecitazioni sulla platea si considera il seguente sistema di riferimento:



**Direzione 1:**

In direzione 1 con un'armatura diffusa composta da:

1Ø12/20" (sopra)

1Ø12/20" (sotto)

Il momento resistente di una striscia di platea larga un metro è pari ad:

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	5,65	5
			2	5,65	15

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C25/30</b>
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67,5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input type="text" value="391,3"/> N/mm²	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3,5"/> ‰
E <sub>s</sub> <input type="text" value="200.000"/> N/mm²	f <sub>cd</sub> <input type="text" value="14,17"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0,8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input type="text" value="1,957"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="9,75"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0,6"/>
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="1,829"/>

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d

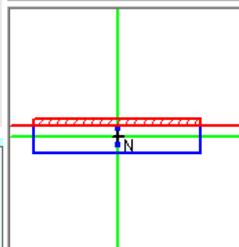
δ

**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.

Calcola MRd

L<sub>0</sub>  cm

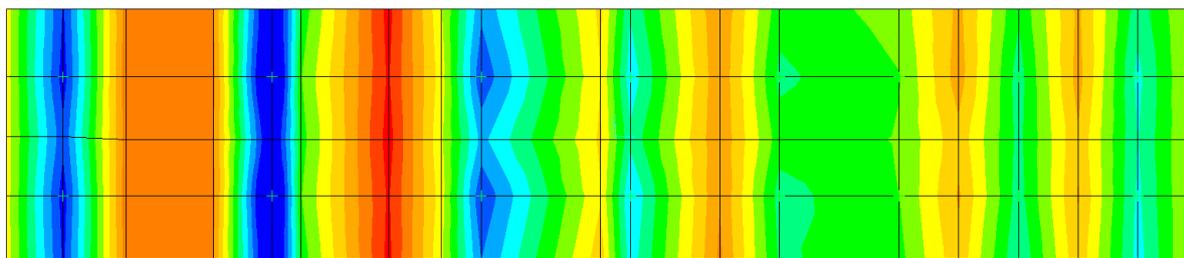
Precompresso

$$M_{Rd} = 3,6 \text{ [tm]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>115 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	115 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	115 di 120								

**Fondazione Rigida:**

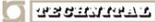
Con il momento resistente calcolato si ha il rispetto della verifica di resistenza nelle zone campite dal fuxia al celeste



*Momento Aree in Fuxia  
3,6 [tm]*

*Momento Aree in Celeste  
3,6 [tm]*

**[OK, Verificato]**

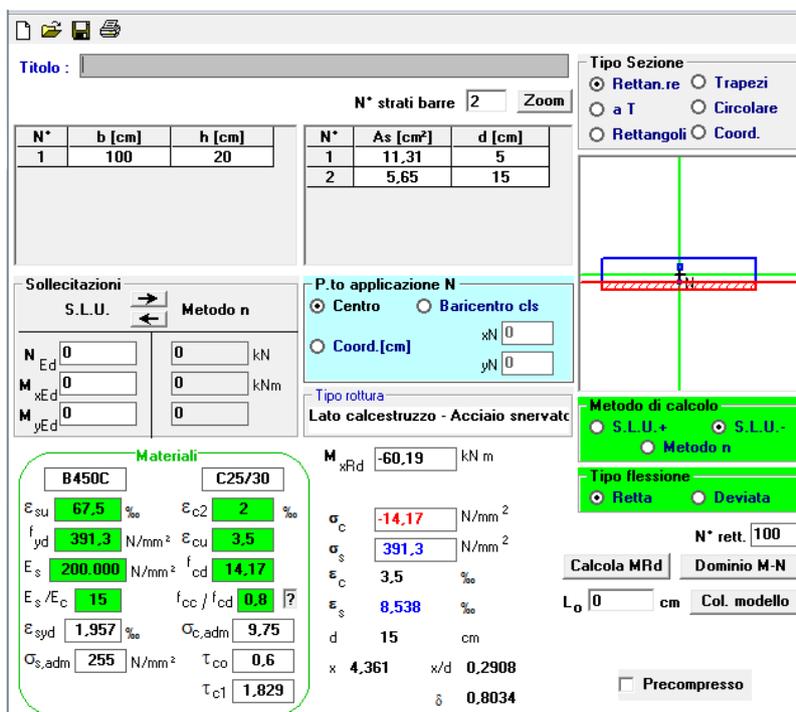
 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>116 di 120</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	116 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	116 di 120								

Nelle zone in cui non si ha il rispetto delle verifiche di resistenza (estradosso delle travi di fondazione) si predispone la seguente armatura aggiuntiva:

$$1\emptyset 12/20'' + 1\emptyset 12/20'' \text{ (sopra)}$$

$$1\emptyset 12/20''' \text{ (sotto)}$$

Il momento resistente di una striscia di platea larga un metro è pari ad:



The screenshot shows a software interface for structural design. Key sections include:

- Titolo:** [Empty field]
- N° strati barre:** 2
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20
- Table 2:**

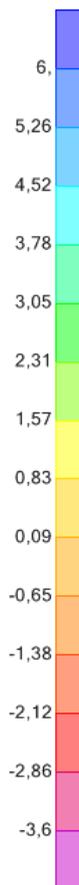
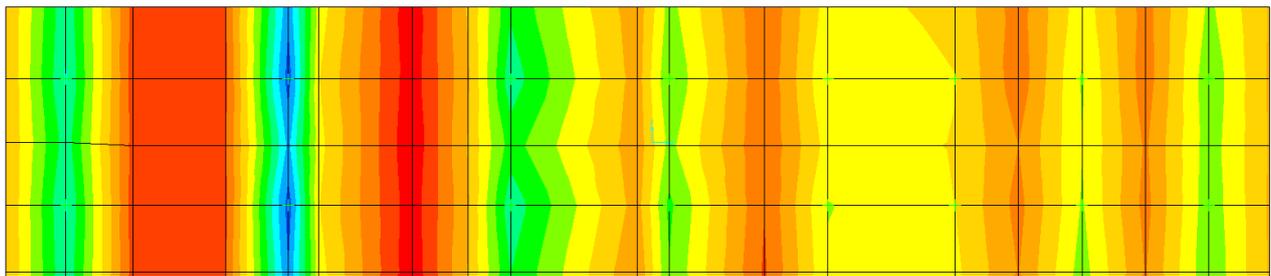
N°	As [cm²]	d [cm]
1	11,31	5
2	5,65	15
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n
- P.to applicazione N:** Centro
- Materiali:** B450C, C25/30
- Material Properties:**
  - $E_{su}$ : 67,5 %
  - $f_{yd}$ : 391,3 N/mm²
  - $E_s$ : 200.000 N/mm²
  - $E_s/E_c$ : 15
  - $E_{syd}$ : 1.957 %
  - $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²
  - $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰
  - $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰
  - $f_{cd}$ : 14,17
  - $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8
  - $\sigma_{c,adm}$ : 9,75
  - $\tau_{co}$ : 0,6
  - $\tau_{c1}$ : 1,829
- Calculation Results:**
  - $M_{xRd}$ : -60,19 kN m
  - $\sigma_c$ : -14,17 N/mm²
  - $\sigma_s$ : 391,3 N/mm²
  - $\epsilon_c$ : 3,5 ‰
  - $\epsilon_s$ : 8,538 ‰
  - $d$ : 15 cm
  - $x$ : 4,361
  - $x/d$ : 0,2908
  - $\delta$ : 0,8034
- Method of Calculation:** S.L.U.+, Metodo n
- Type of Bending:** Retta
- Number of Rectangles:** 100
- Buttons:** Calcola MRd, Dominio M-N, L0, Col. modello, Precompresso

$$M_{Rd} = 6 \text{ [tm]}$$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>117 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	117 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	117 di 120								

**Fondazione Rigida:**

Con il momento resistente calcolato si ha il rispetto della verifica di resistenza nelle zone campite dal fuxia al blu.



*Momento Aree in Rosso*  
*3,6 [tm]*

*Momento Aree in Blu*  
*6,00 [tm]*

**[OK, Verificato]**

**NOME DOCUMENTO**

AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE -  
STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	118 di 120

**Direzione 2:**

In direzione 2 con un'armatura diffusa composta da:

1Ø12/20 '' (sopra)

1Ø12/20 '' (sotto)

Il momento resistente di una striscia di platea larga un metro è pari ad:

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre:  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	5
2	5,65	15

**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

**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

**Calcolo:**  
M<sub>xRd</sub>  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> 11,67 ‰  
d 15 cm  
x 3,46 x/d 0,2307  
δ 0,7283

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

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

N° rett.

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

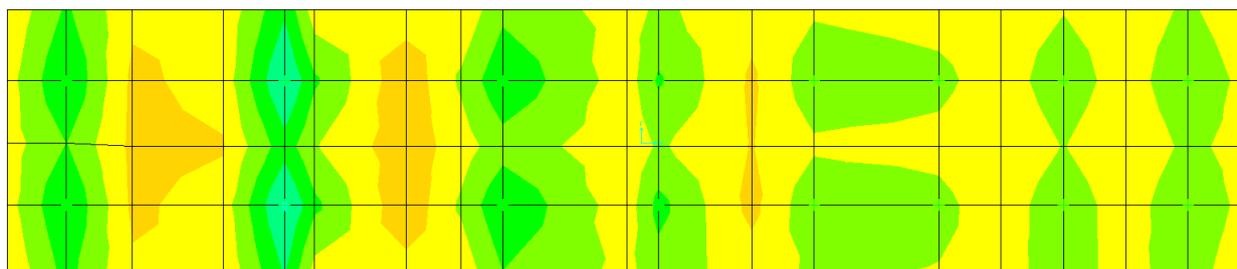
Precompresso

$M_{Rd} = 3,6 \text{ [tm]}$

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>119 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	119 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	119 di 120								

**Fondazione Rigida:**

Con il momento resistente calcolato si ha il rispetto della verifica di resistenza nelle zone campite dal fuxia al blu



*Momento Aree in Fuxia*  
*3,6 [tm]*

*Momento Aree in Blu*  
*3,6 [tm]*

**[OK, Verificato]**

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>NOME DOCUMENTO</b> AREA A SERVIZIO DEL CAPOLINEA BRIGNOLE - STRUTTURE:RELAZIONE DI CALCOLO PENSILINA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z3</td> <td>RH</td> <td>FA4700106</td> <td>B</td> <td>120 di 120</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	120 di 120
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z3	RH	FA4700106	B	120 di 120								

## 12.5 Analisi conclusive in merito alla verifica delle fondazioni

In seguito alle analisi svolte ed alle valutazioni effettuate sui risultati ottenuti in termini di resistenza e di deformabilità è possibile affermare che l'organismo strutturale così progettato e tutti gli elementi che lo compongono rispettano i limiti e le prestazioni richieste da normativa.

Inoltre si dispone la seguente prescrizione:

**La relazione geologica a nostra disposizione non riporta delle indagini penetrometriche riferite al sito della costruzione. Pertanto nelle verifiche riportate ai punti precedenti si impiegano dei parametri geotecnici cautelativi i quali in fase esecutiva dovranno essere opportunamente verificati mediante prove geologiche in sito. Inoltre la fondazione oggetto di verifica è progettata considerando un andamento altimetrico del terreno pianeggiante. Nel caso in cui tale ipotesi non risulti essere verificata si deve necessariamente modificare la tipologia di fondazione inserendo pali e/o muri di sostegno.**

## 13. Allegato A

Il codice di calcolo utilizzato è "Sap 2000 – licenza n° SN:265B".