

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
**ALBERTO BITOSSI**  
IL DIREGENTE 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



CODING-SRL

STRUTTURE

TIPOLOGICO SSE

RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI

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 1 0 C L S E 0 0 0 2 0 0 1 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE esecutiva	P. Luciani	Ott.2021	R. Lerra	Ott.2021	A.Peresso	Ott.2021	
B	EMISSIONE esecutiva	P. Luciani	Mar 2022	R. Lerra	Mar 2022	A.Peresso	Mar 2022	
C	VARIAZIONE TEAM DI COMMESSA	P. Luciani	Mag. 2022	R. Lerra	Mag. 2022	R. Lerra	Mag. 2022	

File: E21D0010CLSE0002001C

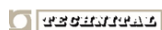
n. Elab.:



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>2 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	2 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	2 di 78								

## Sommario

1	PREMESSA.....	4
2	GENERALITÀ .....	4
2.1	CRITERI DI PROGETTAZIONE .....	7
3	MATERIALI .....	8
3.1	CALCESTRUZZO.....	8
3.2	ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA .....	8
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	9
5	CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO .....	9
6	MODULO A (320X1370).....	10
6.1	ANALISI DEI CARICHI.....	10
	<i>Peso proprio della struttura (G1).....</i>	<i>10</i>
	<i>Carichi permanenti portati (G2).....</i>	<i>10</i>
	<i>Carichi Variabili (Qk1).....</i>	<i>11</i>
	<i>Carichi Vento (Qk2).....</i>	<i>11</i>
	<i>Carichi Neve (Qk3).....</i>	<i>20</i>
	<i>Azione sismica (E) .....</i>	<i>22</i>
1.1	ANALISI DELLA STRUTTURA .....	32
	<i>Codici di calcolo utilizzati .....</i>	<i>32</i>
	<i>Affidabilità del software.....</i>	<i>33</i>
	<i>Modellazione dell'opera .....</i>	<i>33</i>
6.2	COMBINAZIONI .....	35
6.3	SOLLECITAZIONI MASSIME.....	37
6.4	VERIFICHE ALLO SLU E SLE .....	39
7	MODULO B (320X750).....	46
7.1	ANALISI DEI CARICHI.....	46



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

**Relazione di calcolo Fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	3 di 78

	<i>Peso proprio della struttura (G1)</i> .....	46
	<i>Carichi permanenti portati (G2)</i> .....	46
	<i>Carichi Variabili (Qk1)</i> .....	47
	<i>Carichi Vento (Qk2)</i> .....	47
	<i>Carichi Neve (Qk3)</i> .....	55
	<i>Azione sismica (E)</i> .....	57
1.2	<b>ANALISI DELLA STRUTTURA</b> .....	67
	<i>Codici di calcolo utilizzati</i> .....	67
	<i>Affidabilità del software</i> .....	67
	<i>Modellazione dell'opera</i> .....	67
7.2	<b>COMBINAZIONI</b> .....	69
7.3	<b>SOLLECITAZIONI MASSIME</b> .....	73
7.4	<b>VERIFICHE ALLO SLU E SLE</b> .....	74

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>4 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	4 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	4 di 78								

## 1 PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento delle platee di fondazione dei moduli di sottostazioni elettriche lungo la linea della filovia, secondo i punti di ubicazione segnalati all'interno del comune di Genova.

Le sottostazioni indagate dal progetto sono le seguenti:

### SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

- SSE01
- SSE02
- SSE03
- SSE04
- SSE05
- SSE06
- SSE07
- SSE08 (CARICAMENTO)
- SSE – OC01
- SSE10
- SSE – OC02
- SSE 12 - NERVI
- SSE 13 – RICARICA
- SSE OC03
- SSE OC04
- SSE OC05
- SSE C

Di seguito si riportano le caratteristiche generali dei moduli oggetto di studio

## 2 GENERALITÀ

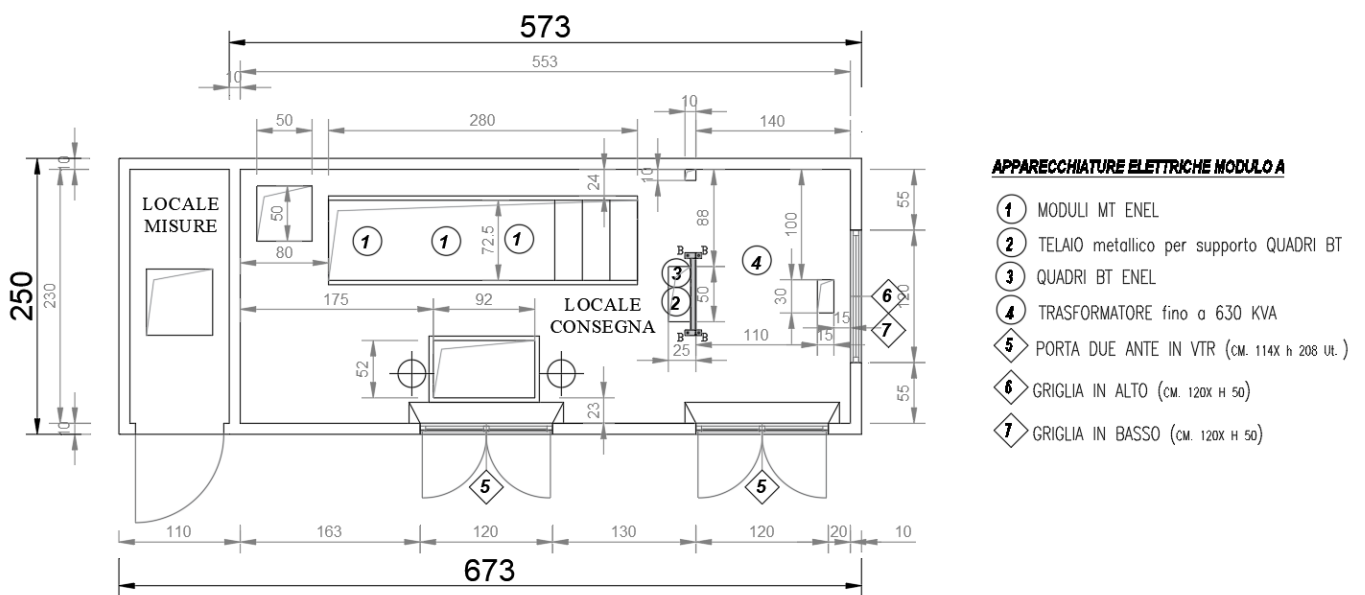
I moduli delle sottostazioni da posizionare sono 3 per ogni lotto, con i seguenti identificativi:

1. SSE ENEL - Cabina fornitura MT
2. SSE TRA\_MT - Locale trasformazione MT
3. SSE QCC-BT - Locale CC e BT; SSE 9 QCC - Locale CC e trafo; SSE 9 RIC-BT - Locale Ricarica e BT;  
SSE RIC-BT - Locale Ricarica e BT

4. SSE RIC TRA-MT - Locale ricarica trasformazione MT; SSE 9 TRA-MT - Locale Trasformazione MT
5. SSE C\_QCC- Cabina fornitura MT

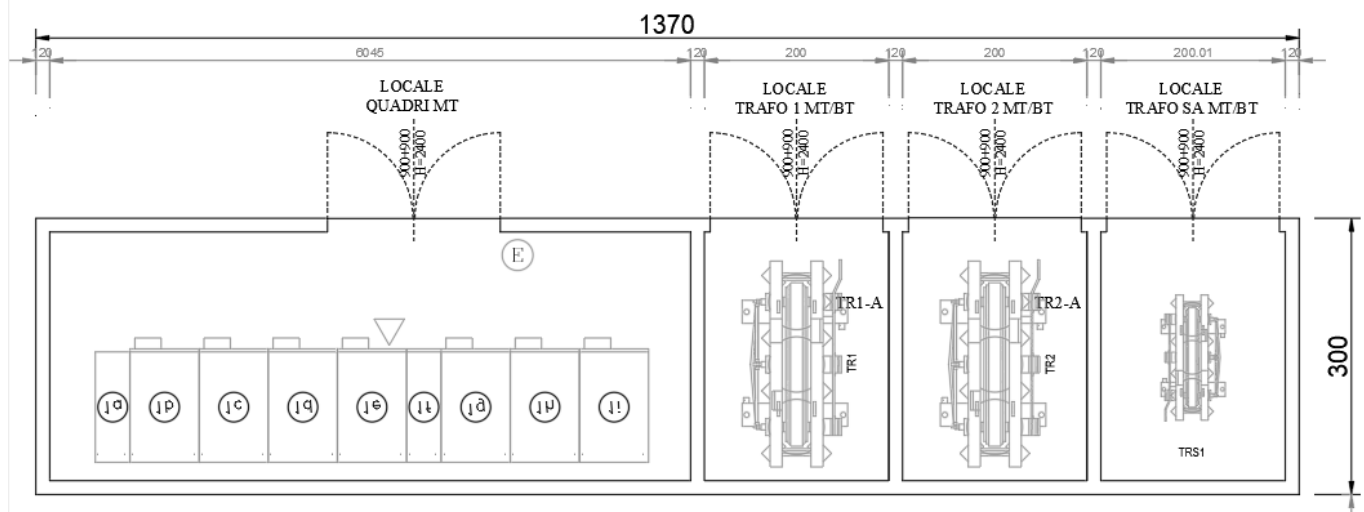
Ognuno di essi presenta differenti dimensioni e diverse attrezzature elettriche, di seguito esposte:

**SSE ENEL - Cabina fornitura MT**



Il primo modulo ospita i quadri MT/BT e un trasformatore; le sue dimensioni in pianta sono di 6,73m x 2,50.

**SSE TRA MT - Locale trasformazione MT**

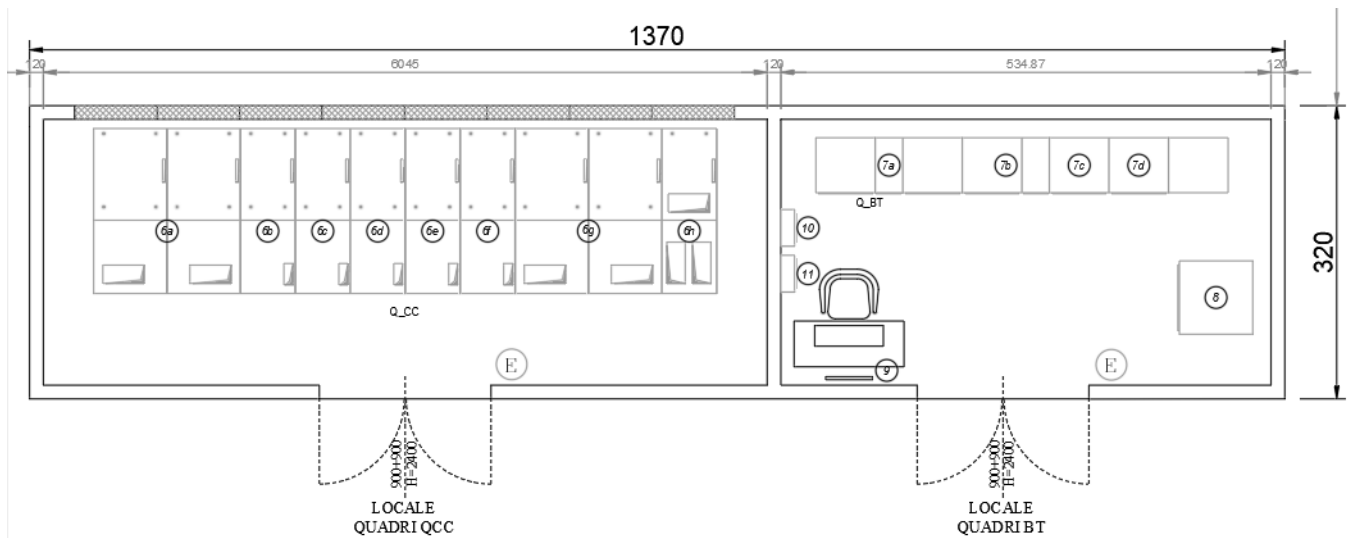


**Relazione di calcolo Fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	6 di 78

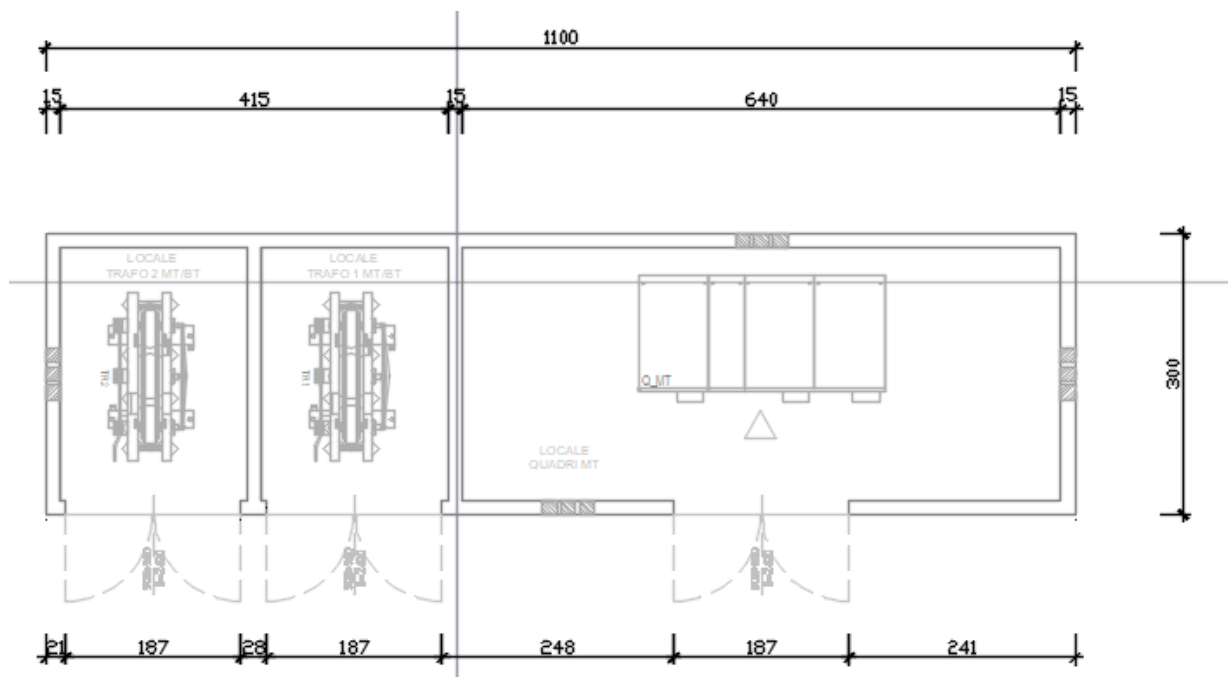
Il modulo in oggetto ospita i locali quadro e i locali trafo MT/BT; le sue dimensioni in pianta sono di 13,7m x 3,00m.

SSE QCC-BT / SSE 9 QCC / SSE 9 RIC-BT / SSE RIC-BT



Il modulo, ospita i locali quadro; le sue dimensioni in pianta sono di 13,7m x 3,20m.

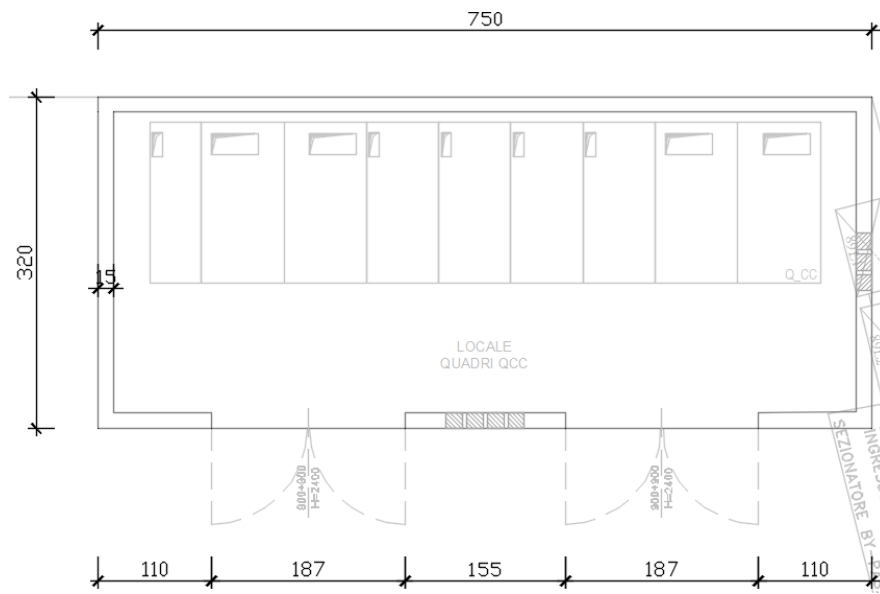
SSE RIC TRA-MT / SSE 9 TRA-MT



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>7 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	7 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	7 di 78								

Il modulo, ospita i locali trafo e il locale Quadro di media tensione; le sue dimensioni in pianta sono di 11,0m x 3,00m.

### SSE C



Il modulo, ospita il locale Quadro; le sue dimensioni in pianta sono di 7,50m x 3,20m.

## 2.1 Criteri di progettazione

Il posizionamento dei fabbricati appena descritti tiene conto delle norme del codice della strada per quegli interventi che richiedono la riprogettazione di spazi utilizzati come parcheggi, marciapiedi, viabilità.

L'intenzione progettuale è quella di non invadere spazi già fruibili e di ridurre il volume di parcheggi da rimuovere, inserendo gli oggetti su marciapiedi, tratti pavimentati, recinti, aree incolte lungo le strade limitrofe ai segnaposti segnalati.

Si tiene inoltre da conto che le operazioni di scavo e di realizzazione delle fondazioni degli oggetti richiedono circa 1 m di spazio libero dal perimetro del fabbricato,

Segue il dimensionamento dei basamenti dei moduli

## Relazione di calcolo Fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	8 di 78

### 3 MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo

- STRUTTURE IN FONDAZIONE:

Conforme alla UNI EN 206-1

Classe di esposizione	XC2
Rck (UNI 11104)	$\geq 37$ MPa
Classe di resistenza (UNI 11104)	C30/37
Rapporto max a/c (MdP RFI 2018)	0.60
Tipo cemento	CEM III-V
Contenuto minimo cemento (UNI 11104)	320 kg/m <sup>3</sup>
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo (MdP RFI 2018)	40 mm

- MAGRONE:

Classe	C12/15
Classe di esposizione	X0

#### 3.2 Acciaio da armatura ordinaria

Acciaio tipo	B450 C
Resistenza di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 391.3$ Mpa	
Modulo elastico	$E_s = 210$ Gpa



   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA  PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E  STRUTTURE CONNESSE)</b>
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO E21D    00 D 10    CL    SE0002 001    C    9 di 78

## 4 PARAMETRI GEOTECNICI

In questa fase progettuale sono state definite le caratteristiche del terreno descritte nell'elaborato E21D00DZ1GEGE0006003A "Relazione geotecnica" a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

Il modello geotecnico assunto per i seguenti calcoli è riportato nella figura sottostante.

Unità	da	a	Spessore medio	$\gamma/\gamma'$	$\nu$	$\phi^k$	$c^k$	$c_{u,k}$	$G_0$	$E_{ammaso}$	$E_{op, fondaz. dirette}$	$E_{op, fondaz. profonde}$	$r$
	[m p.c.]	[m p.c.]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
Ghiaia con sabbia	0	2.5÷8	5	19/9	0,25	30	-	-	100	-	20	35	2,5
Ghiaia e ciottoli con sabbia	2.5÷7	27÷29	3÷26	19/9	0,25	35	-	-	200	-	45	80	2,5
Argilla (solo in corr. SDST01)	28	30	0÷2	19/9	0,3	27	10	70	80	-	15	30	4
Calcere alterato	6÷30	10÷32	3÷4	22/12	0,2	33	40	-	-	800	-	-	-
Calcere	10÷32	35		25/15	0,2	38	60	-	-	2000	-	-	-

## 5 CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO

Per le analisi d'interazione struttura-terreno in direzione verticale, il coefficiente di sottofondo alla Winkler può essere determinato con la seguente relazione:

$$k_w = \frac{E}{(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_t}$$

dove:

$E_0$	50	MPa	Modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni
$E$	10	MPa	modulo elastico del terreno (assunto pari a $E_0/5$ )

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>10 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	10 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	10 di 78								

v	0,3	-	coefficiente di Poisson =0.3;
B	3	m	larghezza della fondazione.
L	5	m	lato maggiore della fondazione
ct	1,13	-	fattore di forma (Bowles, 1960)
Kw	3254	kN/m <sup>3</sup>	coefficiente di sottofondo alla Winkler

Fattore di forma per la stima del coefficiente di Winkler

Fondazione

Rigida

ct

- rettangolare

$$ct = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$$

con  $L/B < 10$

- rettangolare

$$ct = 2 + 0.0089 (L/B)$$

con  $L/B > 10$

dove L é il lato maggiore della fondazione.

Il valore di Kw è stato utilizzato nella modellazione strutturale.

## 6 MODULO A (320X1370)

### 6.1 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni

#### *Peso proprio della struttura (G1)*

$$PP = 0.85m * 0.60m * 40.8m * 2500 \text{ kg/m}^3 = 52000 \text{ kg} = 520 \text{ kN (calcolato dal software)}$$

#### *Carichi permanenti portati (G2)*

Peso delle apparecchiature = 1000 kg/mq

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>11 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	11 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	11 di 78								

N scarico piedino:  $1000\text{kg/mq} * (6.85\text{m} * 1.6\text{m}) = 10900 \text{ kg} = 109 \text{ kN}$

PP shelter a vuoto 2000 kg.

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

N scarico piedino:  $2000 \text{ kg} / (13.70\text{m} * 3.20\text{m}) * (6.85\text{m} * 1.60\text{m}) = 500 \text{ kg} = 5 \text{ kN}$

### ***Carichi Variabili (Qk1)***

Locale accessibile per sola manutenzione (cat.H1) = 50 kg/mq

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

N scarico piedino:  $50 \text{ kg/mq} * (6.85 \text{ m} * 1.60 \text{ m}) = 548 \text{ kg} = 5.5 \text{ kN}$

### ***Carichi Vento (Qk2)***

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al punto 3.3.3 – NTC2018.

**AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18**

**DEFINIZIONE DEI DATI**

zona:

7) Liguria



**Classe di rugosità del terreno:**

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,....); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D. Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati.

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

**$a_s$  (altitudine sul livello del mare della costruzione):**

30 [m]

**Distanza dalla costa**

10 [km]

**$T_R$  (Tempo di ritorno):**

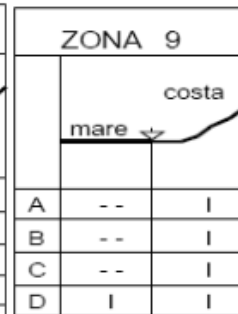
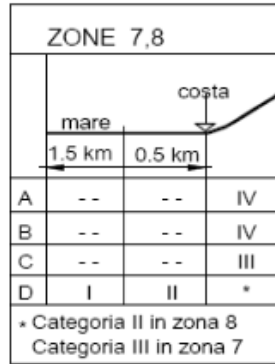
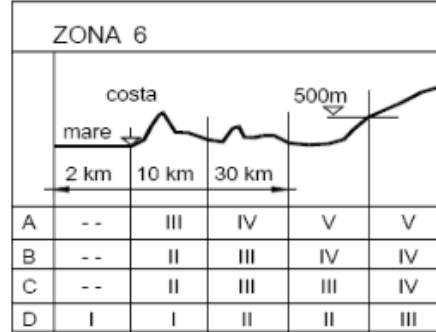
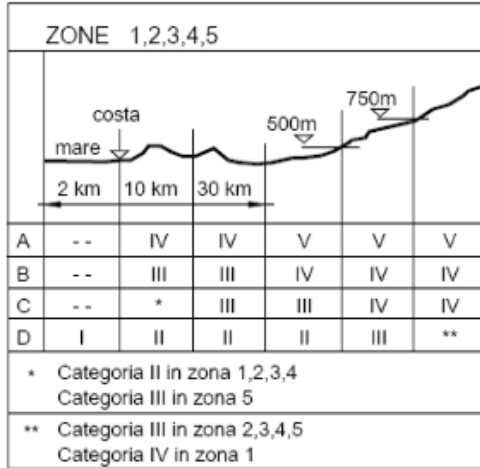
50 [anni]

**Categoria di esposizione**

III

Relazione di calcolo Fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	13 di 78



**Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento**

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.

Relazione di calcolo Fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	14 di 78

La copertura è curva:



\*Vale sia per le falde che per le cupole (a base rettangolare)

**CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.**

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$	$C_a$
7	28	1000	0.54	1.000

$$v_b = v_{b,0} * c_a$$

$c_a = 1$  per  $a_s \leq a_0$   
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$  per  $a_0 < a_s \leq 1500$  m

**$v_b$  (velocità base di riferimento) 28.00 m/s**

$$v_r = v_b * c_r$$

$c_r$  coefficiente di ritorno 1.00

**$v_r$  (velocità di riferimento) 28.02 m/s**

**PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.**

$q_r$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$$q_r = 1/2 * \rho * v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

Pressione cinetica di riferimento  $q_r$  490.72 [N/m²]

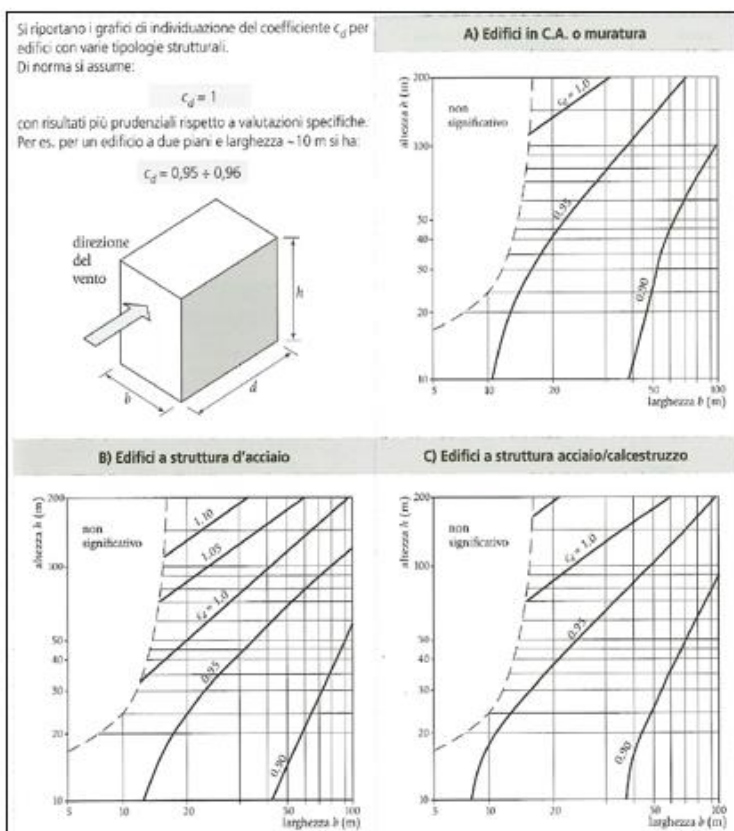
### CALCOLO DEI COEFFICIENTI

Coefficiente dinamico [§3.3.8]

$c_d$

1.00

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



### Coefficiente Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

1	2	3																						
Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina	Costruzioni ubicate sul livello superiore	Costruzioni ubicate su di un pendio																						
$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma$	$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \frac{x}{H}\right) \geq 1$	$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \frac{h}{H}$																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Coefficiente <math>\beta</math></th> <th colspan="3">Coefficiente <math>\gamma</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>per:</td> <td><math>\frac{z}{H} \leq 0,75</math></td> <td><math>0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2</math></td> <td><math>\frac{z}{H} \geq 2</math></td> <td>per:</td> <td><math>\frac{H}{D} \leq 0,10</math></td> <td><math>0,10 &lt; \frac{H}{D} \leq 0,30</math></td> <td><math>\frac{H}{D} &gt; 0,3</math></td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td><math>\beta = 0,5</math></td> <td><math>\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}</math></td> <td><math>\beta = 0</math></td> <td><math>\gamma</math></td> <td><math>\gamma = 0</math></td> <td><math>\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)</math></td> <td><math>\gamma = 1</math></td> </tr> </tbody> </table>			Coefficiente $\beta$			Coefficiente $\gamma$			per:	$\frac{z}{H} \leq 0,75$	$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$	$\frac{z}{H} \geq 2$	per:	$\frac{H}{D} \leq 0,10$	$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$	$\frac{H}{D} > 0,3$	$\beta$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$	$\beta = 0$	$\gamma$	$\gamma = 0$	$\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$	$\gamma = 1$
Coefficiente $\beta$			Coefficiente $\gamma$																					
per:	$\frac{z}{H} \leq 0,75$	$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$	$\frac{z}{H} \geq 2$	per:	$\frac{H}{D} \leq 0,10$	$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$	$\frac{H}{D} > 0,3$																	
$\beta$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$	$\beta = 0$	$\gamma$	$\gamma = 0$	$\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$	$\gamma = 1$																	

Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale:  $c_t$  1.00



Relazione di calcolo Fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	17 di 78

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di  $z=200\text{m}$  valgono le seguenti espressioni

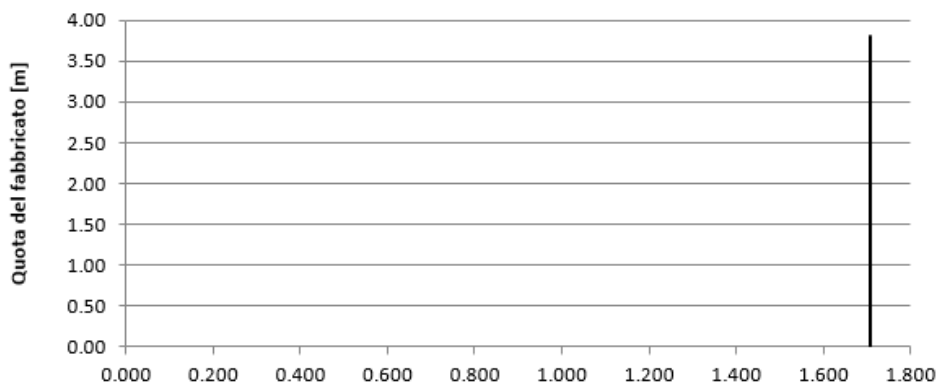
$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0.20	0.10	5.00

<b>Coefficiente di esposizione minimo</b>	$c_{e,\min}$	<b>1.71</b>	$z < 5.00$
<b>Coefficiente di esposizione alla gronda</b>	$c_{e,\text{gronda}}$	<b>1.71</b>	$z = 3.80$
<b>Coefficiente di esposizione al colmo</b>	$c_{e,\text{colmo}}$	<b>1.71</b>	$z = 3.80$

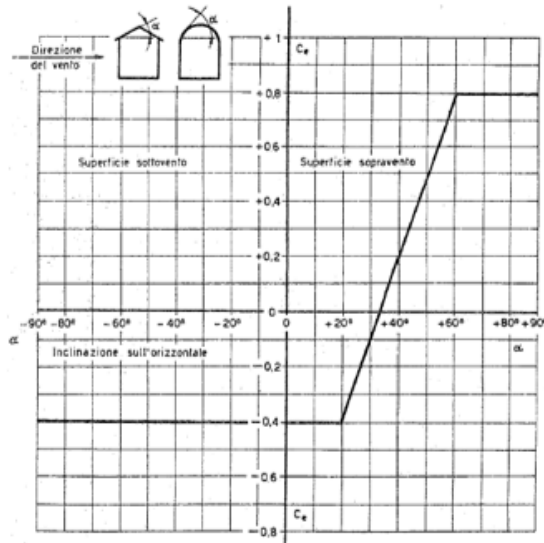
Andamento Coefficiente di Esposizione



**Coefficiente di forma**

**Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve**

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.



**Tettoia a due spioventi**

**Configurazione più svantaggiosa**

**Configurazione A**

(1) parete sopravento	$C_p$	0.00
(2) copertura sopravento	$C_p$	0.83
(3) copertura sottovento	$C_p$	-0.60
(4) parete sottovento	$C_p$	0.00

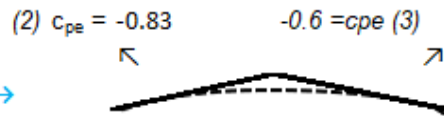
Direzione del vento →



**Configurazione A**

(1) parete sopravento	$C_p$	0.00
(2) copertura sopravento	$C_p$	-0.83
(3) copertura sottovento	$C_p$	-0.60
(4) parete sottovento	$C_p$	0.00

Direzione del vento →



**Configurazione B**

## PRESSIONI DEL VENTO

### Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

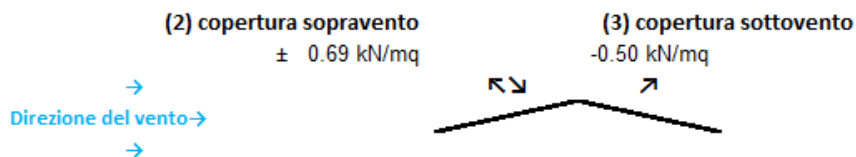
Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_r \cdot C_d \cdot C_t \cdot C_e \cdot C_p$$

$C_d$  (coefficiente dinamico)     $C_t$  (coefficiente topografico)     $C_e$  (coefficiente di esposizione)

$C_p$  (coefficiente di forma)

	$p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_d$	$C_t$	$C_e$	$C_p$	$P$ [kN/m <sup>2</sup> ]
(1) par. sopravvent.	0.491	1.00	1.00	1.708	0.00	0.00
(2) cop. sopravvent.	0.491	1.00	1.00	1.708	0.83	0.69
(3) cop. Sottovent.	0.491	1.00	1.00	1.708	-0.60	-0.50
(4) par. sottovent.	0.491	1.00	1.00	1.708	0.00	0.00



Si verrà a creare un effetto Tira-Spingi sul basamento causato dal vento.

In favore di sicurezza si utilizzerà una pressione del vento pari a  $p = 1 \text{ kN/m}^2$ .

Si considera il vento applicato per un'altezza di 3,5 metri (altezza dello shelter)

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

Parametri di calcolo:

$$L_x \text{ (dimensione in x)} = 13.70\text{m}$$

$$L_y \text{ (dimensione in y)} = 3.20\text{m}$$

$$H \text{ altezza shelter} = 3.5 \text{ m}$$

$$P = 1 \text{ kN/mq}$$

$$p_x = P \times \frac{L_x}{2} = 6.85 \text{ Kn/m}$$

$$p_y = P \times \frac{L_y}{2} = 1.60 \text{ Kn/m}$$

$$e = L_x/y / 4$$

**Relazione di calcolo Fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	20 di 78

Sforzo normale alla base del pilastro nelle direzioni X Y

Mx alla base del piedino: 
$$M_x = \left( \frac{p_y \times H^2}{2} \right) = \pm 9.80 \text{ kNm}$$

Nx = scarico piedino di bordo: 
$$N_x = \pm \frac{\left( \frac{M_x}{e} \right)}{2}$$

$N_x = \pm 1.43 \text{ kN}$

My alla base del piedino: 
$$M_y = \left( \frac{p_x \times H^2}{2} \right) = \pm 41.95 \text{ kNm}$$

Ny scarico piedino di bordo: 
$$N_y = \pm \frac{\left( \frac{M_y}{e} \right)}{2}$$

$N_y = \pm 26.22 \text{ kN}$

***Carichi Neve (Qk3)***

Si riporta di seguito il calcolo del carico da neve per la zona 2 ad una quota di 262 m nel caso di copertura piana.



**Zona II**

Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona:

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,85 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m} \quad [3.4.4]$$

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>22 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	22 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	22 di 78								

Il carico da neve è pertanto:

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/m}^2\text{])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

$\mu_i$  (coefficiente di forma)

$q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>])

$C_E$  (coefficiente di esposizione)

$C_t$  (coefficiente termico)

$$q_s = 1.25 \text{ kN/mq}$$

$$N \text{ scarico piedino} =: 1.25 \text{ kN/mq} * (6.85 \text{ m} * 1.60 \text{ m}) = 13.76 \text{ kN}$$

Per la definizione dell'azione sismica sono necessarie delle valutazioni preliminari relative alle seguenti caratteristiche proprie della costruzione:

- Vita Nominale (VN);
- Classe d'uso (Cu);
- Periodo di Riferimento (VR).

### *Azione sismica (E)*

#### **6.6.1. Vita Nominale – Classe d'uso – Periodo di Riferimento**

Con riferimento alla tabella 1.1.1-1 delle “Specifiche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario” l'opera oggetto di studio rientra tra le opere nuove su infrastrutture ferroviarie esistenti: si utilizza pertanto VN = 50 anni.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>23 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	23 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	23 di 78								

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale V <sub>N</sub> [ANNI] <sup>(2)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITA' CONVENZIONALE (V<250 Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' V<250 Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' V ≥ 250 km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 <sup>(2)</sup>
(1) - La stessa V <sub>N</sub> si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprighiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere. (2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI.	

Tab. 1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

Non ospitando funzioni di comando, supervisione e controllo, il fabbricato non rientra tra le opere definite nell'elenco A dell'allegato 1 del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 21/10/2003:

“Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile - Edifici in tutto o in parte ospitanti funzioni di comando, supervisione e controllo, ..., il cui utilizzo abbia luogo da parte di ... RFI”.

Pertanto, si considera classe d'uso III.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C <sub>u</sub> ]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITA' FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Tabella 1.1.2-1 - Coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie

Il periodo di riferimento per l'azione sismica si valuta mediante la seguente espressione:

$$VR = VN \times Cu$$

dove Cu è il coefficiente d'uso, che per classe d'uso III risulta pari a 1.5.

Pertanto il periodo di riferimento per la struttura in esame risulta di 712 anni.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>24 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	24 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	24 di 78								

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissata probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

La normativa definisce le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  – Accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $TC^*$  - Periodo d’inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

#### Caratterizzazione sismica del sito

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l’effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell’azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Il terreno su cui insiste la costruzione è stato assimilato cautelativamente ad un sottosuolo di categoria C.

La nuova normativa tecnica ripone particolare attenzione anche nei confronti delle condizioni topografiche del sito in esame.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali si può far riferimento alla classificazione proposta dalla norma.

Nel caso in esame si può assumere una categoria topografica T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ).

#### Modellazione dell’azione sismica

Nei confronti delle azioni sismiche si definiscono due stati limite di esercizio e due ultimi, che sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso.

L’azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra loro indipendenti.



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>25 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	25 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	25 di 78								

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR. Lo spettro di risposta elastico orizzontale è descritto dalle seguenti espressioni:

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

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

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

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

Agli stati limite ultimi le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, tenendo conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso lo spettro di progetto da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

#### Classe di duttilità

In merito alla duttilità strutturale si è scelto di progettare una struttura di tipo non dissipativo

Date le caratteristiche geometriche e strutturali delle opere, per il progetto dei basamenti, è stato pertanto adottato un fattore di struttura  $q=1,0$ .

#### Spettri per SLV, SLD

In ragione delle azioni sismiche individuate nei vari siti di interesse. Gli spettri di risposta di progetto agli stati limite SLD, SLV sono stati assunti facendo riferimento al comune di Genova (GE).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo Fondazioni</b>	<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 10</td> <td>CL</td> <td>SE0002 001</td> <td>C</td> <td>26 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	26 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	26 di 78								

Si riportano i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.023	2.549	0.181
SLD	75	0.029	2.552	0.208
SLV	712	0.062	2.660	0.318
SLC	1462	0.077	2.721	0.336

Si riportano gli spettri adottati:

**Relazione di calcolo Fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	27 di 78

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

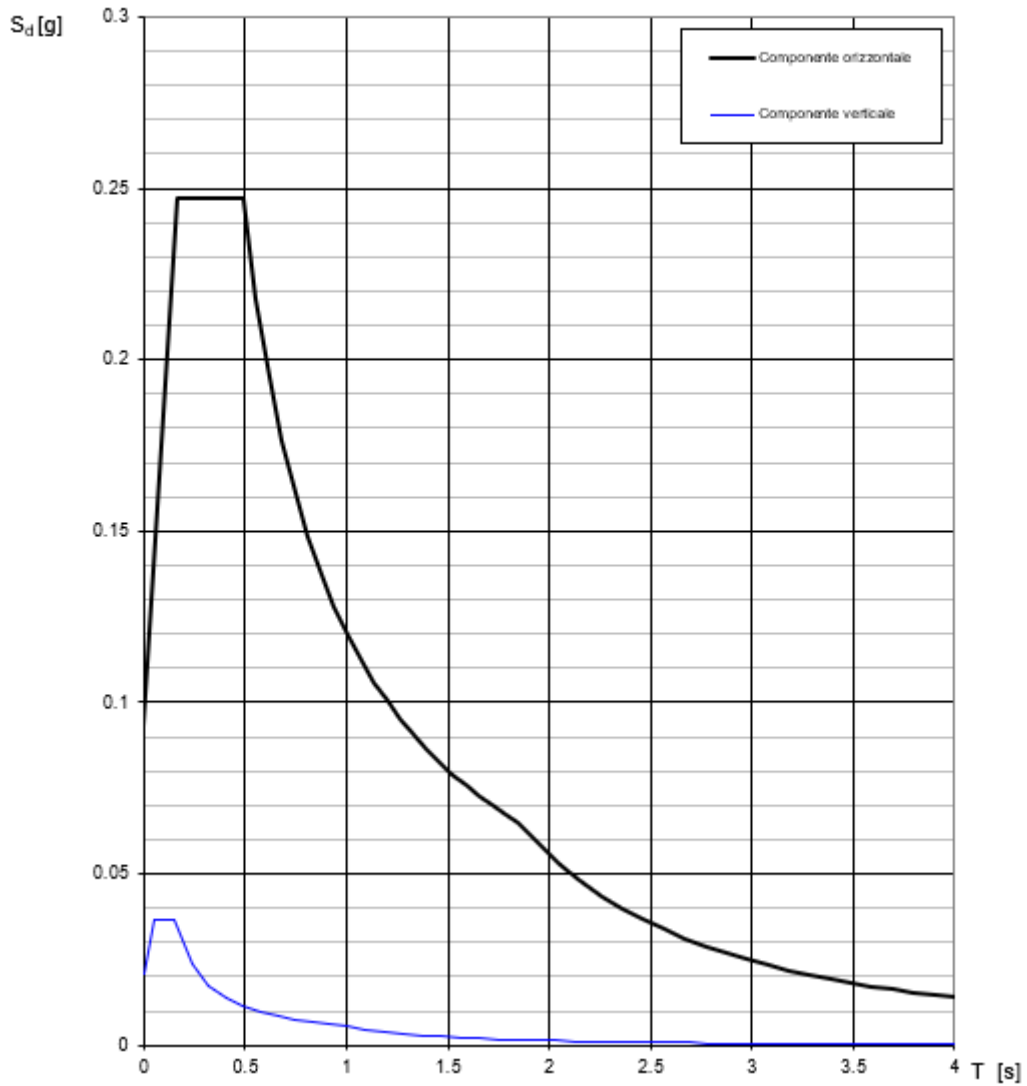


Figura 1: Spettro elastico SLV

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

**Parametri indipendenti**

STATOLIMITE	SLV
$a_s$	0.062 g
$F_a$	2.660
$T_c$	0.318 s
$S_s$	1.500
$C_c$	1.533
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.162 s
$T_C$	0.487 s
$T_D$	1.848 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 + \xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

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

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

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  $\eta/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.093
$T_B$	0.162	0.247
$T_C$	0.487	0.247
	0.552	0.218
	0.617	0.195
	0.681	0.177
	0.746	0.161
	0.811	0.148
	0.876	0.137
	0.941	0.128
	1.005	0.120
	1.070	0.112
	1.135	0.106
	1.200	0.100
	1.265	0.095
	1.329	0.091
	1.394	0.086
	1.459	0.082
	1.524	0.079
	1.589	0.076
	1.653	0.073
	1.718	0.070
	1.783	0.067
$T_D$	1.848	0.065
	1.950	0.058
	2.053	0.053
	2.155	0.048
	2.258	0.044
	2.360	0.040
	2.463	0.037
	2.565	0.034
	2.668	0.031
	2.770	0.029
	2.873	0.027
	2.975	0.025
	3.078	0.023
	3.180	0.022
	3.283	0.021
	3.385	0.019
	3.488	0.018
	3.590	0.017
	3.693	0.016
	3.795	0.015
	3.898	0.015
	4.000	0.014

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

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{sv}$	0.021 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.834
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.021
$T_B$	0.050	0.037
$T_C$	0.150	0.037
	0.235	0.024
	0.320	0.017
	0.405	0.014
	0.490	0.011
	0.575	0.010
	0.660	0.008
	0.745	0.007
	0.830	0.007
	0.915	0.006
$T_D$	1.000	0.006
	1.094	0.005
	1.188	0.004
	1.281	0.003
	1.375	0.003
	1.469	0.003
	1.563	0.002
	1.656	0.002
	1.750	0.002
	1.844	0.002
	1.938	0.001
	2.031	0.001
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.001
	2.406	0.001
	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	0.000
	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.

**Relazione di calcolo Fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 10	CL	SE0002 001	C	30 di 78

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

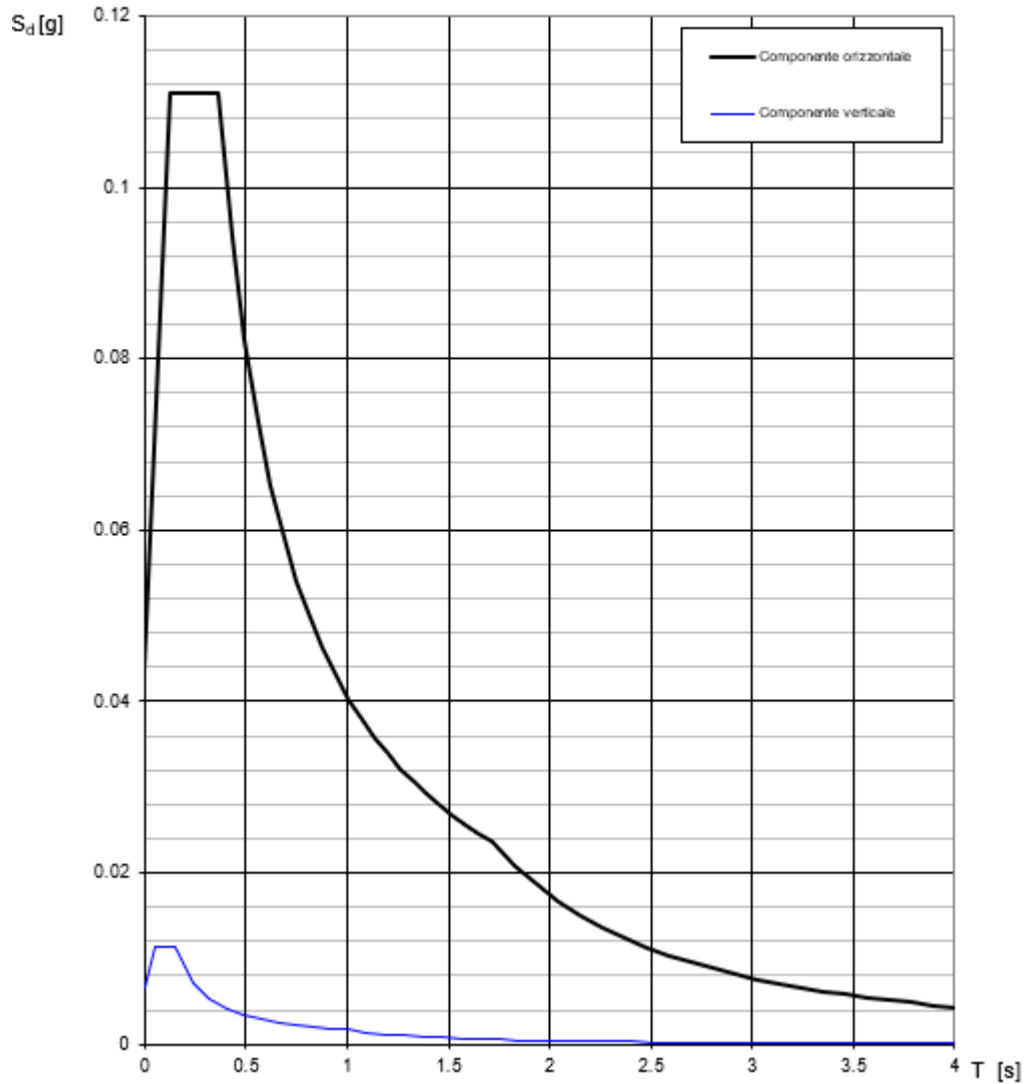


Figura 2: Spettro elastico SLD

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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.023 g
$F_a$	2.552
$T_c$	0.208 s
$S_s$	1.500
$C_c$	1.764
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.122 s
$T_C$	0.366 s
$T_D$	1.716 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

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

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

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	0.043
$T_B$	0.122	0.111
$T_C$	0.366	0.111
	0.431	0.034
	0.435	0.082
	0.559	0.073
	0.623	0.065
	0.688	0.059
	0.752	0.054
	0.816	0.050
	0.880	0.046
	0.945	0.043
	1.009	0.040
	1.073	0.038
	1.138	0.036
	1.202	0.034
	1.266	0.032
	1.330	0.031
	1.395	0.029
	1.459	0.028
	1.523	0.027
	1.587	0.026
	1.652	0.025
$T_D$	1.716	0.024
	1.825	0.021
	1.934	0.019
	2.042	0.017
	2.151	0.015
	2.260	0.014
	2.369	0.012
	2.477	0.011
	2.586	0.010
	2.695	0.010
	2.804	0.009
	2.912	0.008
	3.021	0.008
	3.130	0.007
	3.239	0.007
	3.347	0.006
	3.456	0.006
	3.565	0.005
	3.674	0.005
	3.782	0.005
	3.891	0.005
	4.000	0.004

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' ...

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{av}$	0.007 g
$S_s$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.587
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.007
$T_B$	0.050	0.011
$T_C$	0.150	0.011
	0.235	0.007
	0.320	0.005
	0.405	0.004
	0.490	0.003
	0.575	0.003
	0.660	0.003
	0.745	0.002
	0.830	0.002
	0.915	0.002
$T_D$	1.000	0.002
	1.094	0.001
	1.188	0.001
	1.281	0.001
	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	0.000
	2.031	0.000
	2.125	0.000
	2.219	0.000
	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.

## 1.1 ANALISI DELLA STRUTTURA

### Codici di calcolo utilizzati

Per il calcolo delle sollecitazioni gravanti sugli elementi strutturali e per le verifiche di resistenza si è fatto ricorso al codice di calcolo "SAP2000".

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

lunghezze: m



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>33 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	33 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	33 di 78								

forze: kN

masse: kN massa

temperature: gradi centigradi °

angoli: gradi sessadecimali.

### *Affidabilità del software*

La documentazione fornita a corredo dei software contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati.

### *Modellazione dell'opera*

L'analisi della struttura in esame è stata effettuata attraverso una modellazione agli elementi finiti.

La struttura è stata modellata con un modello numerico nelle tre dimensioni nello spazio, il sistema di riferimento assunto prevede una terna destrorsa il cui asse X è orientato in direzione nord e l'asse Z verticale positivo verso l'alto.

Le travi sono state modellate tramite elementi beam su suolo elastico alla Winkler, attraverso l'introduzione di molle verticali.

Seguono alcune immagini rappresentative del modello di calcolo:

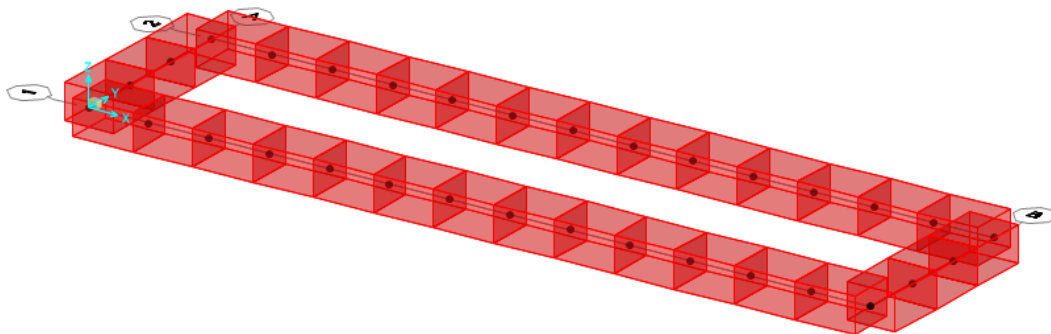


Figura 3: Modello strutturale

Si riportano i carichi applicati al basamento (i carichi vengono applicati nei 4 appoggi dello shelter).

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	34 di 78

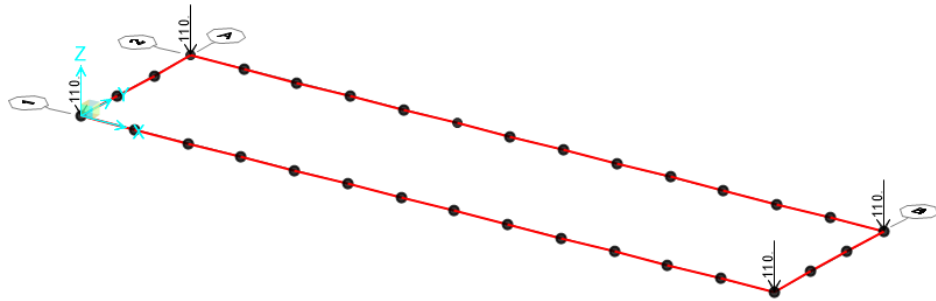


Figura 4: Carico G2

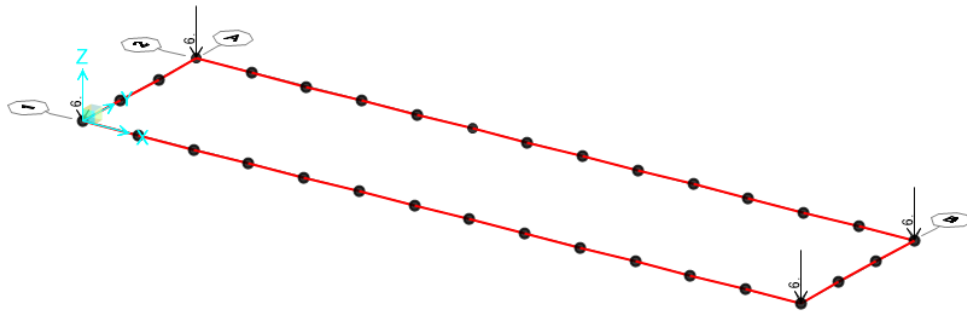


Figura 5: Carico Qk1 - Manutenzione

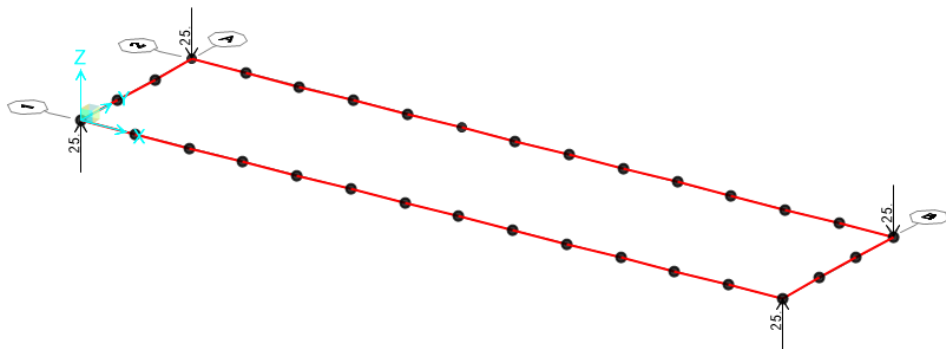


Figura 6: Carico Qk2 - Vento

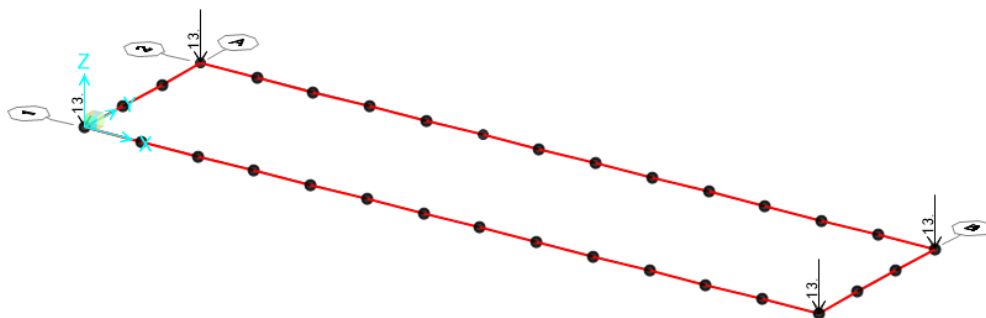


Figura 7: Carico Qk3 - Neve

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>35 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	35 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	35 di 78								

## 6.2 COMBINAZIONI

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verrà eseguito mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e quelle agli stati limite d'esercizio (SLE), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli. Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni .

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

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

Dove:

Azioni Permanenti (G);

Azioni Variabili (Q);

Azioni di Precompressione (P);

Azioni Eccezionali (A);

Azioni Sismiche (E);

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>36 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	36 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	36 di 78								

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla seguente tabella:

Destinazione d'uso/azione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini,...	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli $\leq 30\text{kN}$ )	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30\text{kN}$ )	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota $\leq 1000$ m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota $> 1000$ m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati dalla seguente tabella:

Azione		Coefficiente parziale	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30

   	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA  PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E  STRUTTURE CONNESSE)</b>
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO E21D    05 D 10    CL    FA0103 002    A    37 di 78

Accidentali	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

I valori dei coefficienti parziali per i parametri del terreno  $\gamma_M$  sono dati dalla seguente tabella:

Parametro	Coefficiente parziale $\gamma_m$	
	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio $\tan \phi'_k$	1,00	1,25
Coesione efficace $c'_k$	1,00	1,25
Resistenza non drenata $c_{uk}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume di terreno $\gamma$	1,00	1,00

Le verifiche SLU, di tipo geotecnico (GEO) e strutturale (STR) sono svolte secondo NTC 2018 e quindi in riferimento alla combinazione A1 + M1 + R3.

Si riportano di seguito le combinazioni implementate nel modello:

Combinazione	PP	G2	Qk1-Var	Qk2-Vento	Qk3 - Neve	Ez	
SLU1		1.3 1..5	1.5	0.9	0.75	0	
SLU2		1.3	1.5	0	1.5	0.75	0
SLU3		1.3	1.5	0	0.9	1.5	0
SLV		1	1	0	0	0	1
SLER1		1	1	1	0.6	0.5	0
SLER2		1	1	0.6	1	0.5	0
SLER3		1	1	0.6	0.6	1	0
SLEQP		1	1	0	0	0	0

### 6.3 SOLLECITAZIONI MASSIME

Nelle rappresentazioni che seguono, il momento positivo tende le fibre di sopra nella combinazione più gravosa (SLU1).

Relazione di calcolo strutturale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	38 di 78

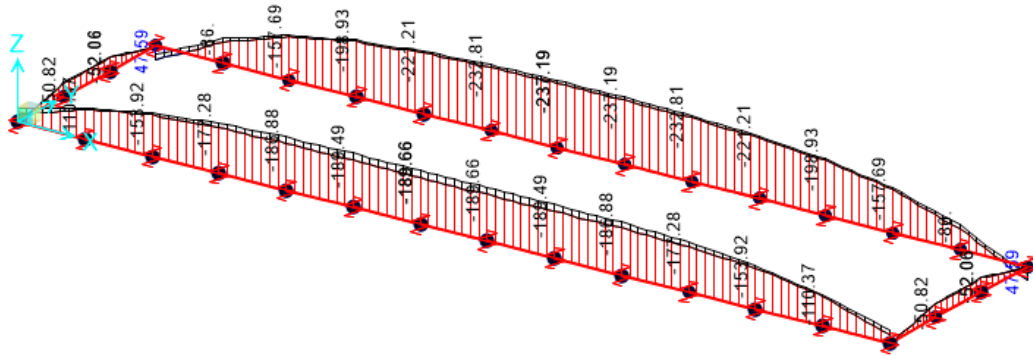


Figura 8: Momento SLU

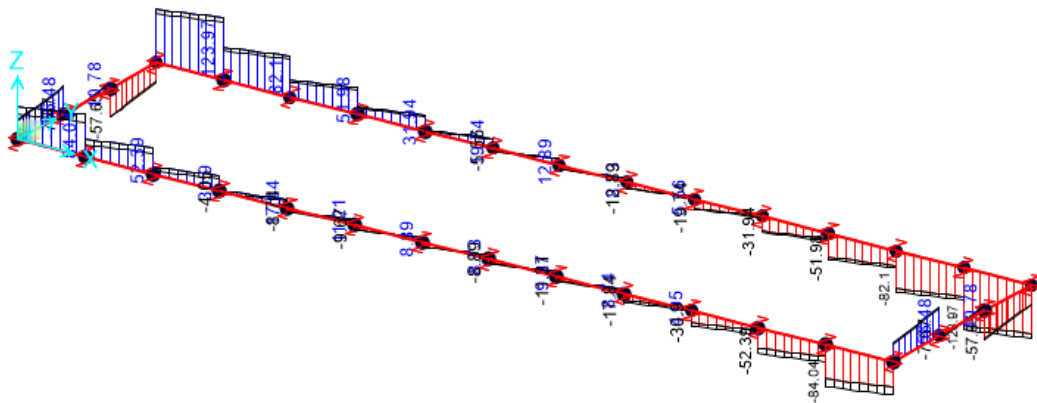


Figura 9: Taglio SLU

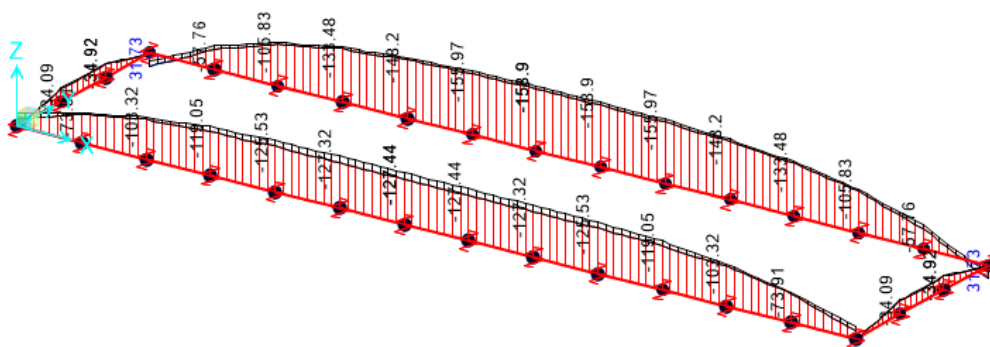


Figura 10: Momento SLE

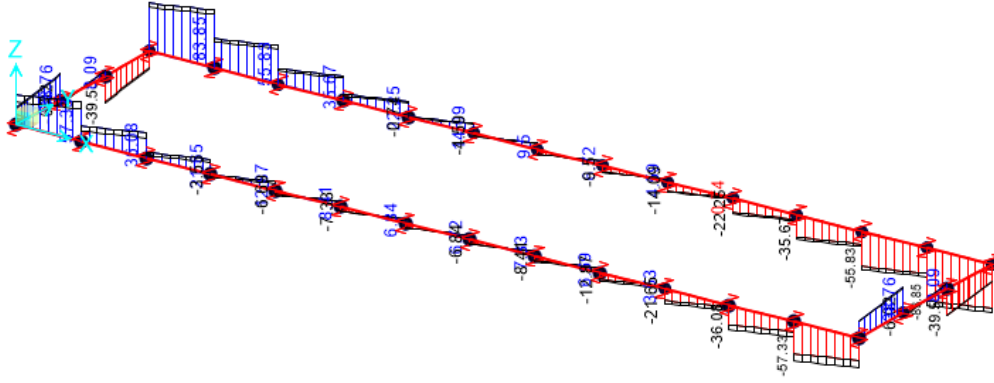
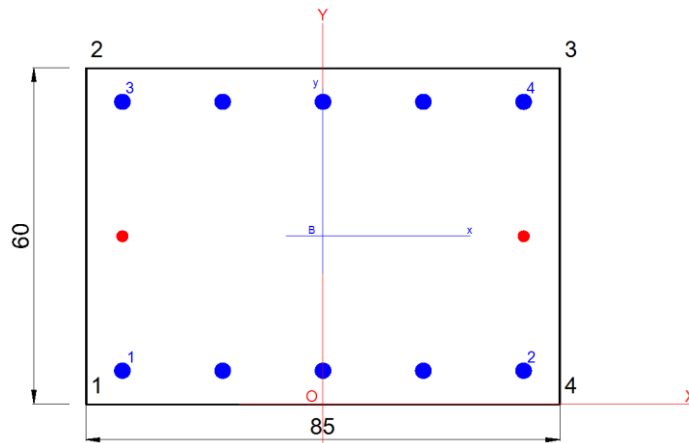


Figura 11: Taglio SLE

## 6.4 VERIFICHE ALLO SLU E SLE

Seguono le verifiche della trave fondazione, effettuate attraverso il software RC-SEC.

La trave 85x60cm, è armata con 5  $\phi$  24 al lembo inferiore e superiore e 1  $\phi$ 16 corrente di parete



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.5 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.5 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	40 di 78

Resist. ultima di progetto ftd:	391.3	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-42.5	0.0
2	-42.5	60.0
3	42.5	60.0
4	42.5	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-36.0	6.0	24
2	36.0	6.0	24
3	-36.0	54.0	24
4	36.0	54.0	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	24
2	3	4	3	24
3	1	3	1	16
4	2	4	1	16

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 8 mm  
Passo staffe: 7.8 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	240.00	0.00	120.00	0.00

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**



**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	41 di 78

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	10.00	140.00 (187.15)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 15.6 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	240.00	0.00	0.00	487.80	0.00	2.03	26.6(7.7)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.129	-42.5	60.0	0.00050	-36.0	54.0	-0.02354	-36.0	6.0

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000500832	-0.026549920	0.129	0.700

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 8 mm



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

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	42 di 78

Passo staffe: 7.8 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna.  
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallele. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	120.00	1210.81	612.76	54.0	85.0	2.500	1.000	2.5	12.9(0.0)

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.40	-42.5	60.0	-121.3	18.0	6.0	1233	22.6

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

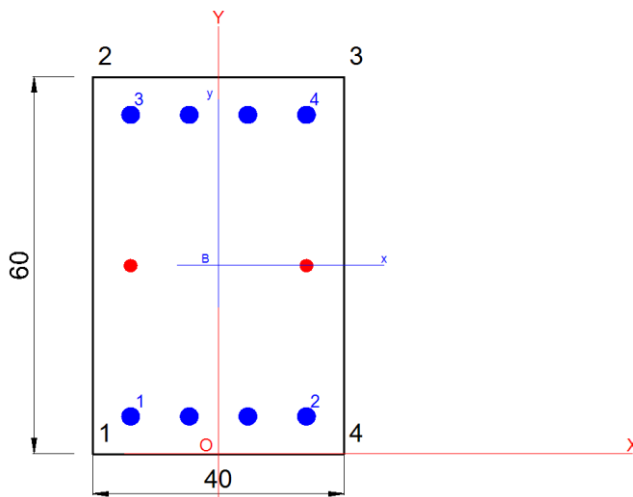
Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = (e1 + e2)/(2\*e1) [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max\*(e\_sm - e\_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00070	0.00000	0.838	24.0	48	0.00036 (0.00036)	536	0.195 (0.20)	187.15	0.00

Viene inoltre eseguita una ulteriore sezione, in corrispondenza di un cavedio posto nella mezzeria della trave (situazione più gravosa).

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	43 di 78



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.5 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.5 MPa	
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.0 MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.3 MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:		391.3 MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$ :		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$ :	0.50		

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-20.0	0.0
2	-20.0	60.0
3	20.0	60.0
4	20.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-14.0	6.0	24
2	14.0	6.0	24
3	-14.0	54.0	24
4	14.0	54.0	24

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	44 di 78

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	2	24
2	3	4	2	24
3	1	3	1	16
4	2	4	1	16

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	8 mm
Passo staffe:	7.8 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	240.00	0.00	120.00	0.00

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	25.00	140.00 (101.91)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.9 cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	45 di 78

As Tesa Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	240.00	0.00	0.00	389.10	0.00	1.62	22.1(3.6)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere  $< 0.45$   
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.160	-20.0	60.0	0.00107	-14.0	54.0	-0.01833	-14.0	6.0

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000404203	-0.020752190	0.160	0.700

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 8 mm  
Passo staffe: 7.8 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna.  
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	120.00	569.79	612.76	54.0	40.0	2.500	1.000	2.5	12.9(0.0)

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	46 di 78

As eff.		Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure							
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.52	20.0	60.0	-150.1	4.7	6.0	540	18.1

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$										
e1	Esito della verifica										
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata										
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff										
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]										
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]										
k3	= $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]										
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali										
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali										
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]										
e sm - e cm	Coprifero [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa										
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]										
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]										
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]										
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi										
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]										
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]										
Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00088	0.00000	0.838	24.0	48	0.00054 (0.00045)	367	0.199 (0.20)	101.91	0.00

## 7 MODULO B (320X750)

### 7.1 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni

#### *Peso proprio della struttura (G1)*

$$PP = 21.4m \cdot 0.85m \cdot 0.60m \cdot 2500 \text{ kg/m}^3 = 27200 \text{ kg} = 272 \text{ kN (calcolato dal software)}$$

#### *Carichi permanenti portati (G2)*

$$\text{Peso delle apparecchiature} = 1000 \text{ kg/mq}$$

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

$$N \text{ scarico piedino: } 1000\text{kg/mq} \cdot (3.75m \cdot 1.60m) = 6000 \text{ kg} = 60 \text{ kN}$$

$$PP \text{ shelter a vuoto } 2000 \text{ kg.}$$

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>47 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	47 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	47 di 78								

N scarico piedino:  $2000 \text{ kg} / (7.50\text{m} * 3.20\text{m}) * (3.75\text{m} * 1.60\text{m}) = 125 \text{ kg} = 1.25 \text{ kN}$

### Carichi Variabili (Qk1)

Locale accessibile per sola manutenzione (cat.H1) = 50 kg/mq

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

N scarico piedino:  $50 \text{ kg/mq} * (3.75 \text{ m} * 1.60 \text{ m}) = 300 \text{ kg} = 3 \text{ kN}$

### Carichi Vento (Qk2)

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al punto 3.3.3 – NTC2018.

## AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

### DEFINIZIONE DEI DATI

zona:

7) Liguria
------------



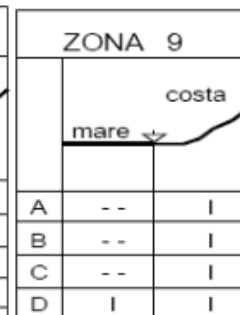
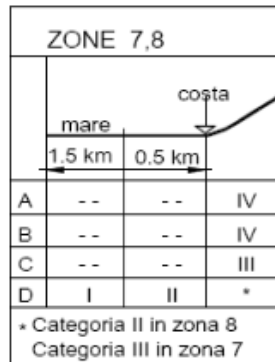
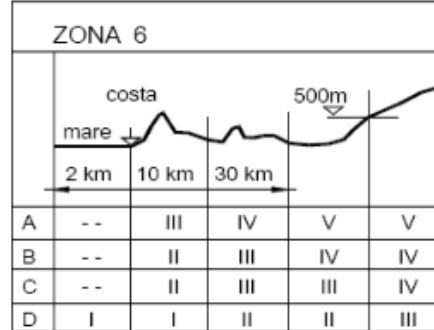
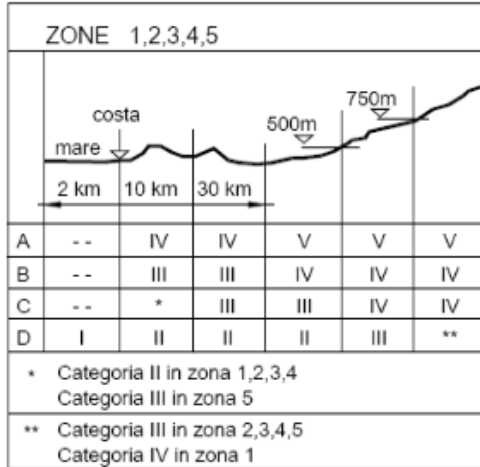
Classe di rugosità del terreno:

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D. Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

<b>a<sub>s</sub></b> (altitudine sul livello del mare della costruzione):	30	[m]
<b>Distanza dalla costa</b>	10	[km]
<b>T<sub>R</sub></b> (Tempo di ritorno):	50	[anni]
<b>Categoria di esposizione</b>	III	



**Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento**

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.



Relazione di calcolo strutturale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	49 di 78

La copertura è curva:



\*Vale sia per le falde che per le cupole (a base rettangolare)

**CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.**

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$	$C_a$
7	28	1000	0.54	1.000

$$v_b = v_{b,0} * c_a$$

$c_a = 1$  per  $a_s \leq a_0$   
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$  per  $a_0 < a_s \leq 1500$  m

**$v_b$  (velocità base di riferimento) 28.00 m/s**

$$v_r = v_b * c_r$$

$c_r$  coefficiente di ritorno 1.00

**$v_r$  (velocità di riferimento) 28.02 m/s**

**PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.**

$q_r$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$$q_r = 1/2 * \rho * v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

**Pressione cinetica di riferimento  $q_r$  490.72 [N/m²]**

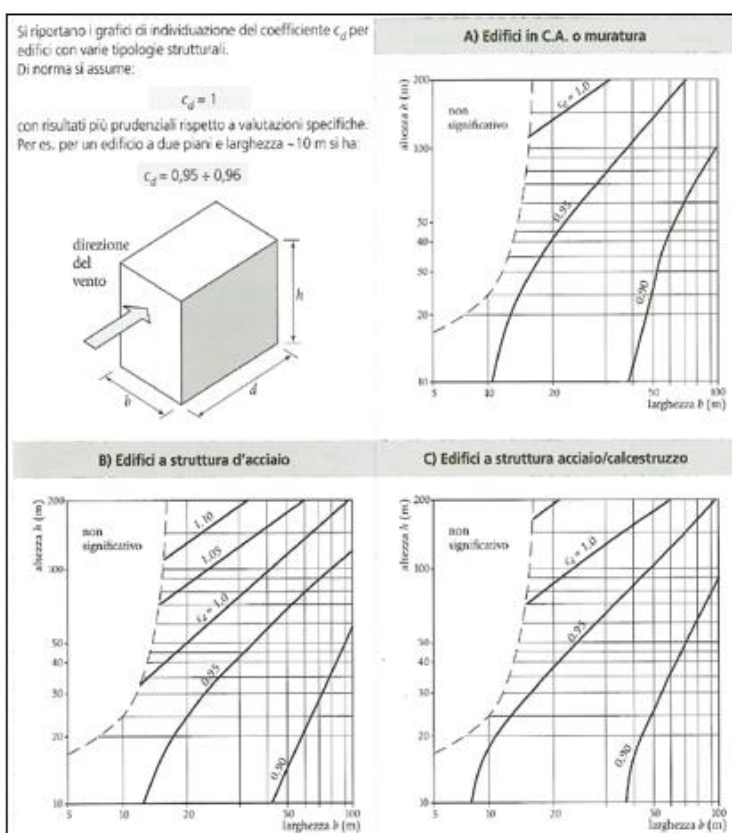
## CALCOLO DEI COEFFICIENTI

Coefficiente dinamico [§3.3.8]

$C_d$

**1.00**

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



**Coefficiente Topografico (Orografico)**

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

1	2	3			
Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina	Costruzioni ubicate sul livello superiore	Costruzioni ubicate su di un pendio			
$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma$	$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \left(1 - 0,1 \frac{x}{H}\right) \geq 1$	$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \frac{h}{H}$			
Coefficiente $\beta$		Coefficiente $\gamma$			
per: $\frac{z}{H} \leq 0,75$	$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$	$\frac{z}{H} \geq 2$	per: $\frac{H}{D} \leq 0,10$	$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$	$\frac{H}{D} > 0,3$
$\beta = 0,5$	$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$	$\beta = 0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$	$\gamma = 1$

Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale:  $c_t$  1.00

**Coefficiente di esposizione [§3.3.7]**

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di  $z=200\text{m}$  valgono le seguenti espressioni

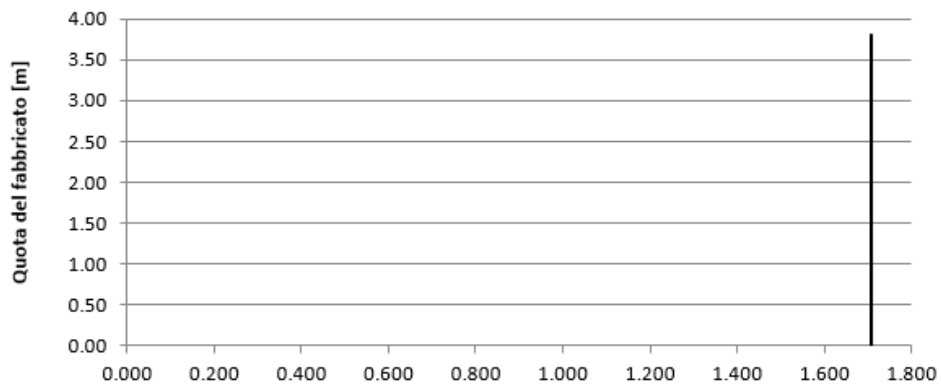
$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0.20	0.10	5.00

<b>Coefficiente di esposizione minimo</b>	$c_{e,\min}$	<b>1.71</b>	$z < 5.00$
<b>Coefficiente di esposizione alla gronda</b>	$c_{e,\text{gronda}}$	<b>1.71</b>	$z = 3.80$
<b>Coefficiente di esposizione al colmo</b>	$c_{e,\text{colmo}}$	<b>1.71</b>	$z = 3.80$

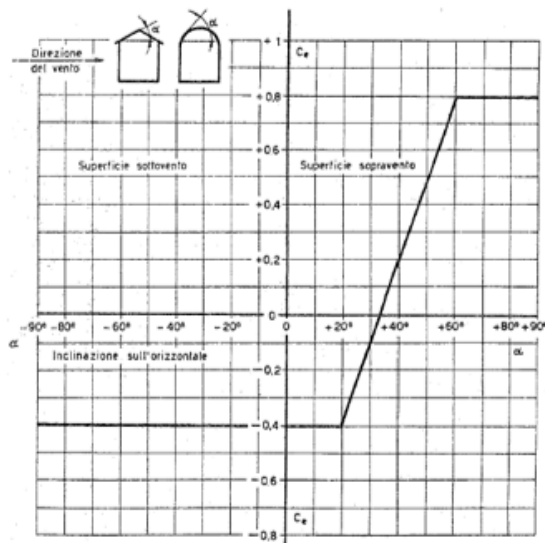
**Andamento Coefficiente di Esposizione**



**Coefficiente di forma**

**Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve**

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

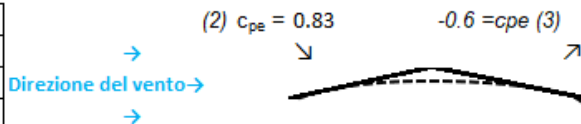


**Tettoia a due spioventi**

**Configurazione più svantaggiosa**

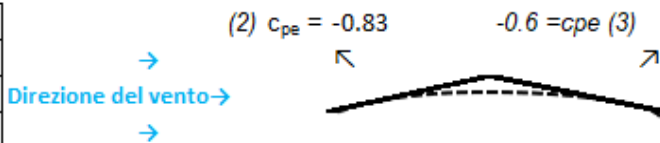
**Configurazione A**

(1) parete sopravvento	$C_p$	0.00
(2) copertura sopravvento	$C_p$	0.83
(3) copertura sottovento	$C_p$	-0.60
(4) parete sottovento	$C_p$	0.00



**Configurazione A**

(1) parete sopravvento	$C_p$	0.00
(2) copertura sopravvento	$C_p$	-0.83
(3) copertura sottovento	$C_p$	-0.60
(4) parete sottovento	$C_p$	0.00



**Configurazione B**

## PRESSIONI DEL VENTO

### Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

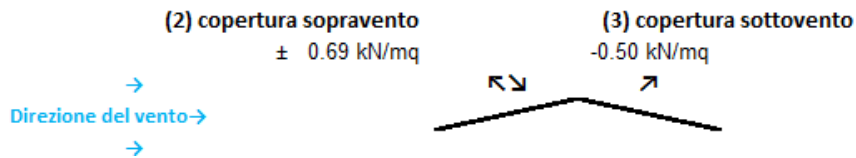
Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_f \cdot C_d \cdot C_t \cdot C_e \cdot C_p$$

$C_d$  (coefficiente dinamico)     $C_t$  (coefficiente topografico)     $C_e$  (coefficiente di esposizione)

$C_p$  (coefficiente di forma)

	$p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_d$	$C_t$	$C_e$	$C_p$	$P$ [kN/m <sup>2</sup> ]
(1) par. sopravento	0.491	1.00	1.00	1.708	0.00	0.00
(2) cop. sopravento	0.491	1.00	1.00	1.708	0.83	0.69
(3) cop. sottovento	0.491	1.00	1.00	1.708	-0.60	-0.50
(4) par. sottovento	0.491	1.00	1.00	1.708	0.00	0.00



Si verrà a creare un effetto Tira-Spingi sul basamento causato dal vento.

In favore di sicurezza si utilizzerà una pressione del vento pari a  $p = 1$  kN/m<sup>2</sup>.

Si considera il vento applicato per un'altezza di 3,5 metri (altezza dello shelter)

Tale valore andrà ripartito sui 4 piedini di appoggio dello shelter:

Parametri di calcolo:

$L_x$  (dimensione in x) = 7.50m

$L_y$  (dimensione in y) = 3.2m

H altezza shelter = 3.5 m

$P = 1$  kN/mq

$$p_x = \frac{P \times L_x}{2} = 3.75 \text{ Kn/m}$$

$$p_y = \frac{P \times L_y}{2} = 1.60 \text{ Kn/m}$$

$$e = L_x / y / 4$$

Sforzo normale alla base del pilastro nelle direzioni X Y

$$M_x \text{ alla base del piedino: } M_x = \left( \frac{p_y \times H^2}{2} \right) = \pm 9.80 \text{ kNm}$$

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	55 di 78

$$N_x = \text{scarico piedino di bordo: } \pm \quad N_y = \pm \frac{\left(\frac{M_x}{e}\right)}{2}$$

$$N_x = \pm 2.61 \text{ kN}$$

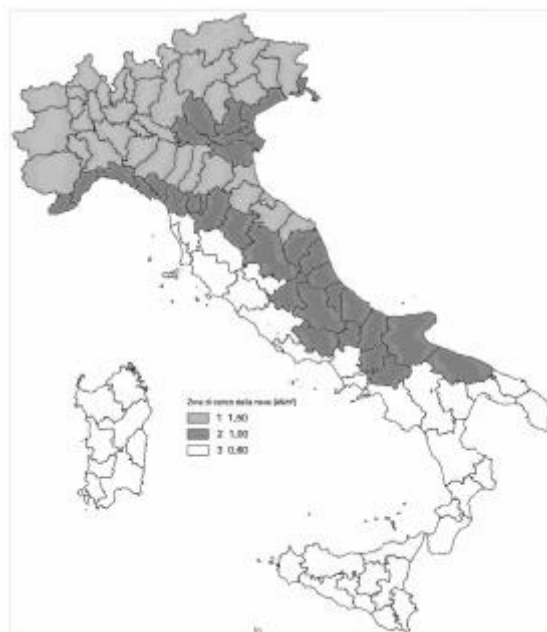
$$M_y \text{ alla base del piedino: } M_y = \left(\frac{p_x \times H^2}{2}\right) = \pm 22.9 \text{ kNm}$$

$$N_y \text{ scarico piedino di bordo: } \pm \quad N_y = \pm \frac{\left(\frac{M_y}{e}\right)}{2}$$

$$N_y = \pm 14.3 \text{ kN}$$

***Carichi Neve (Qk3)***

Si riporta di seguito il calcolo del carico da neve per la zona 2 ad una quota di 262 m nel caso di copertura piana.



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO E21D    05 D 10    CL    FA0103 002    A    56 di 78

**Zona II**

Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona:

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \qquad a_s \leq 200 \text{ m}$$

[3.4.4]

$$q_{sk} = 0,85 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \qquad a_s > 200 \text{ m}$$

**Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma**

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

**Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione**

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Il carico da neve è pertanto:

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/m}^2\text{])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

$\mu_i$  (coefficiente di forma)

$q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>])

$C_E$  (coefficiente di esposizione)

$C_t$  (coefficiente termico)

$$q_s = 1.25 \text{ kN/mq}$$

$$N \text{ scarico piedino} = 1.25 \text{ kN/mq} * (3.75 \text{ m} * 1.60 \text{ m}) = 7.5 \text{ kN}$$

Per la definizione dell'azione sismica sono necessarie delle valutazioni preliminari relative alle seguenti caratteristiche proprie della costruzione:



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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;">05 D 10</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">FA0103 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">57 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	57 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	57 di 78								

- Vita Nominale (VN);
- Classe d'uso (Cu);
- Periodo di Riferimento (VR).

### Azione sismica (E)

#### 6.6.1. Vita Nominale – Classe d'uso – Periodo di Riferimento

Con riferimento alla tabella 1.1.1-1 delle "Specifiche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario" l'opera oggetto di studio rientra tra le opere nuove su infrastrutture ferroviarie esistenti: si utilizza pertanto  $VN = 50$  anni.

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale $V_N$ [ANNI] <sup>(1)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITA' CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' $V < 250$ Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' $V \geq 250$ km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(2)</sup>
(1) – La stessa $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere. (2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI.	

Tab. 1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

Non ospitando funzioni di comando, supervisione e controllo, il fabbricato non rientra tra le opere definite nell'elenco A dell'allegato 1 del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 21/10/2003:

“Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile - Edifici in tutto o in parte ospitanti funzioni di comando, supervisione e controllo, ..., il cui utilizzo abbia luogo da parte di ... RFI”.

Pertanto, si considera classe d'uso III.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [Cu]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITA' FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Tabella 1.1.2-1 - Coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>58 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	58 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	58 di 78								

Il periodo di riferimento per l'azione sismica si valuta mediante la seguente espressione:

$$VR = VN \times Cu$$

dove  $Cu$  è il coefficiente d'uso, che per classe d'uso III risulta pari a 1.5.

Pertanto il periodo di riferimento per la struttura in esame risulta di 712 anni.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $ag$ , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissata probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

La normativa definisce le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $ag$  – Accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$  – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $TC^*$  - Periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

#### Caratterizzazione sismica del sito

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Il terreno su cui insiste la costruzione è stato assimilato cautelativamente ad un sottosuolo di categoria C.

La nuova normativa tecnica ripone particolare attenzione anche nei confronti delle condizioni topografiche del sito in esame.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali si può far riferimento alla classificazione proposta dalla norma.

Nel caso in esame si può assumere una categoria topografica T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>59 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	59 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	59 di 78								

### Modellazione dell'azione sismica

Nei confronti delle azioni sismiche si definiscono due stati limite di esercizio e due ultimi, che sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso.

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra loro indipendenti.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore dell'accelerazione orizzontale massima **ag su sito** di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di **ag** variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR. Lo spettro di risposta elastico orizzontale è descritto dalle seguenti espressioni:

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

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

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

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

Agli stati limite ultimi le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, tenendo conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso lo spettro di progetto da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

### Classe di duttilità

In merito alla duttilità strutturale si è scelto di progettare una struttura di tipo non dissipativo

Date le caratteristiche geometriche e strutturali delle opere, per il progetto dei basamenti, è stato pertanto adottato un fattore di struttura  $q=1,0$ .

### Spettri per SLV, SLD

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>60 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	60 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	60 di 78								

In ragione delle azioni sismiche individuate nei vari siti di interesse. Gli spettri di risposta di progetto agli stati limite SLD, SLV sono stati assunti facendo riferimento al comune di Genova (GE).

Si riportano i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0.023	2.549	0.181
SLD	75	0.029	2.552	0.208
SLV	712	0.062	2.660	0.318
SLC	1462	0.077	2.721	0.336

Si riportano gli spettri adottati:

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

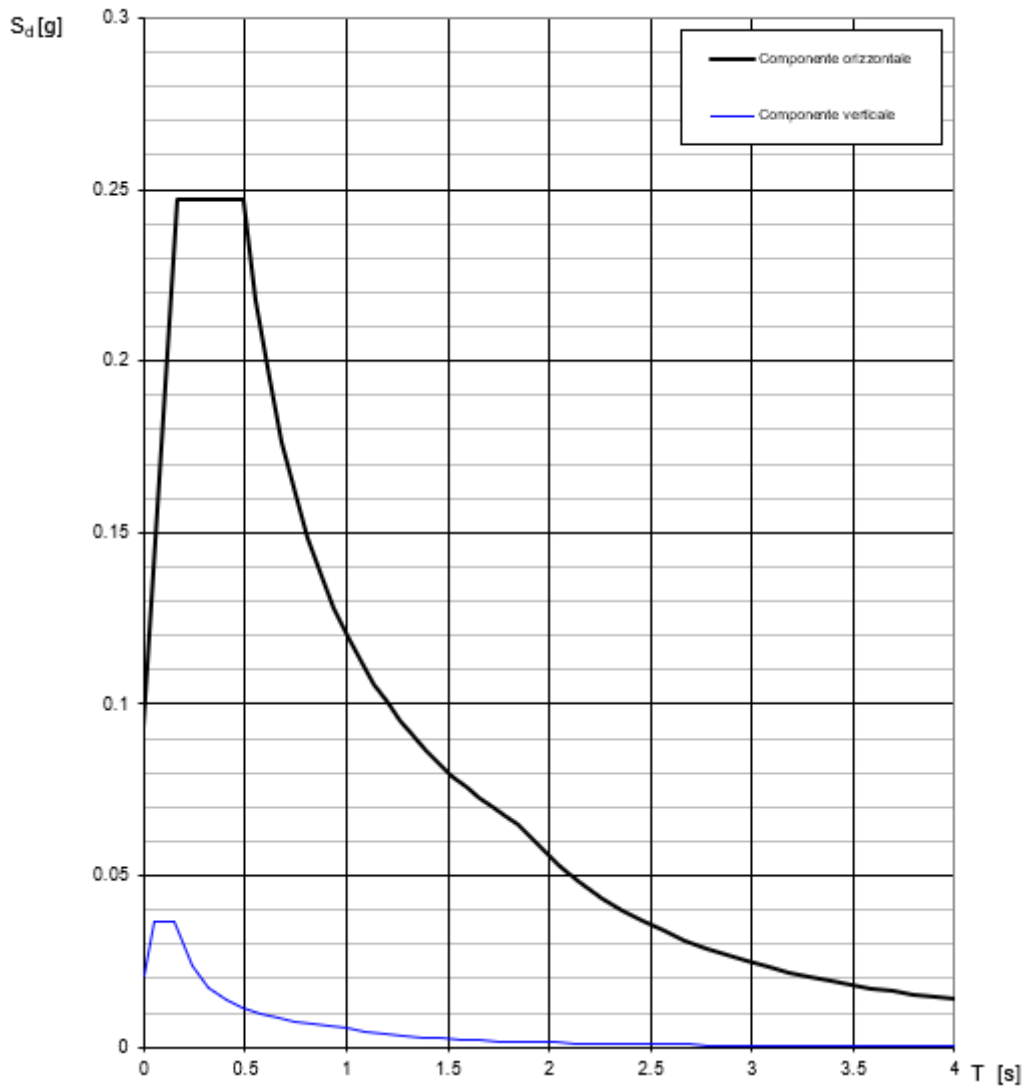


Figura 12: Spettro elastico SLV

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

**Parametri indipendenti**

STATOLIMITE	SLV
$a_g$	0.062 g
$F_a$	2.660
$T_c$	0.318 s
$S_s$	1.500
$C_c$	1.533
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.162 s
$T_C$	0.487 s
$T_D$	1.848 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

$$\eta = \sqrt{10(5+\xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

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  $\eta/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	$S_e$ [g]
	0.000	0.093
$T_B \leftarrow$	0.162	0.247
$T_C \leftarrow$	0.487	0.247
	0.552	0.218
	0.617	0.195
	0.681	0.177
	0.746	0.161
	0.811	0.148
	0.876	0.137
	0.941	0.128
	1.005	0.120
	1.070	0.112
	1.135	0.106
	1.200	0.100
	1.265	0.095
	1.329	0.091
	1.394	0.086
	1.459	0.082
	1.524	0.079
	1.589	0.076
	1.653	0.073
	1.718	0.070
	1.783	0.067
$T_D \leftarrow$	1.848	0.065
	1.950	0.058
	2.053	0.053
	2.155	0.048
	2.258	0.044
	2.360	0.040
	2.463	0.037
	2.565	0.034
	2.668	0.031
	2.770	0.029
	2.873	0.027
	2.975	0.025
	3.078	0.023
	3.180	0.022
	3.283	0.021
	3.385	0.019
	3.488	0.018
	3.590	0.017
	3.693	0.016
	3.795	0.015
	3.898	0.015
	4.000	0.014

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' ...

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

STATOLIMITE	SLV
$a_{av}$	0.021 g
$S_s$	1.000
$S_T$	1.000
q	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.834
S	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.021
$T_B \leftarrow$	0.050	0.037
$T_C \leftarrow$	0.150	0.037
	0.235	0.024
	0.320	0.017
	0.405	0.014
	0.490	0.011
	0.575	0.010
	0.660	0.008
	0.745	0.007
	0.830	0.007
	0.915	0.006
$T_D \leftarrow$	1.000	0.006
	1.034	0.005
	1.188	0.004
	1.281	0.003
	1.375	0.003
	1.463	0.003
	1.563	0.002
	1.656	0.002
	1.750	0.002
	1.844	0.002
	1.938	0.001
	2.031	0.001
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.001
	2.406	0.001
	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	0.000
	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.

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

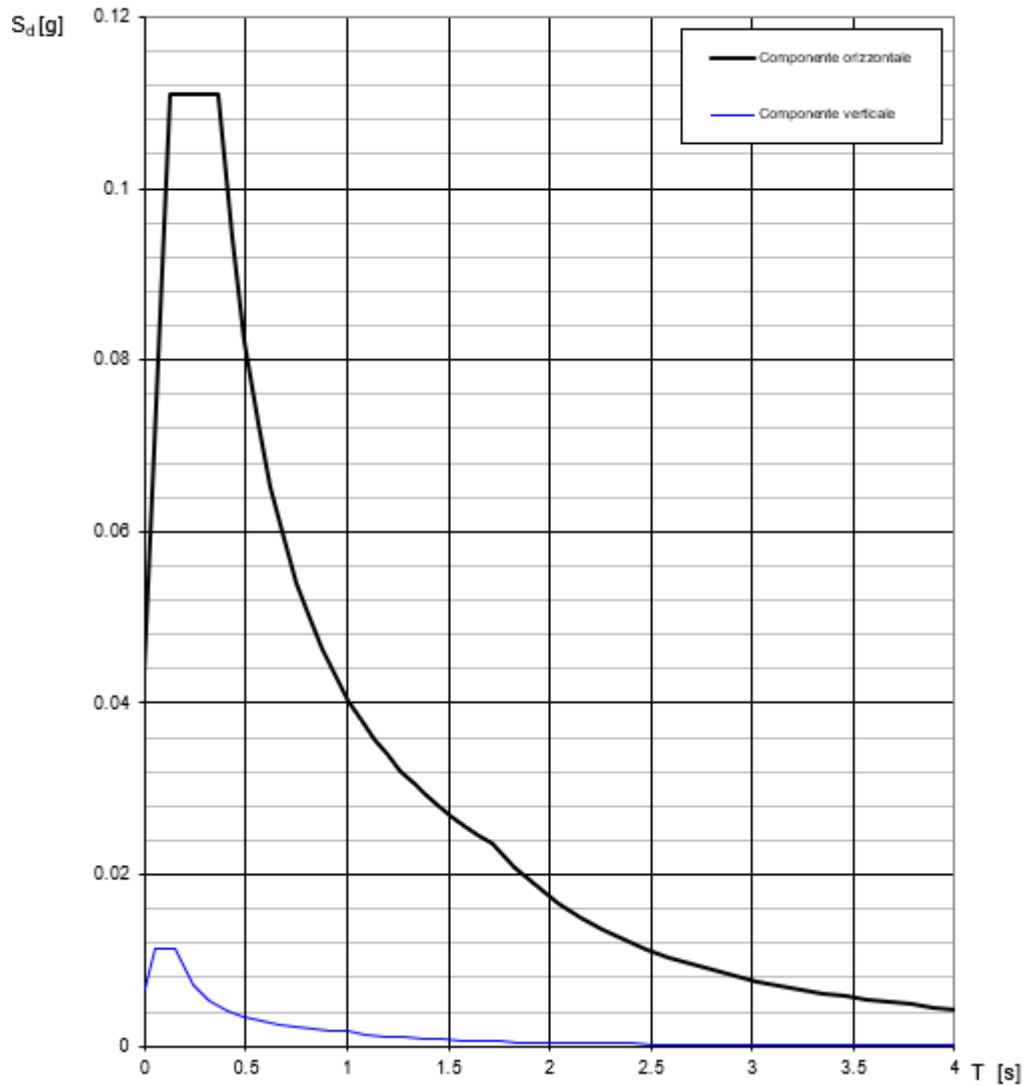


Figura 13: Spettro elastico SLD



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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_s$	0.029 g
$F_R$	2.552
$T_C$	0.208 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.764
$S_T$	1.000
q	1.000

**Parametri dipendenti**

S	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.122 s
$T_C$	0.366 s
$T_D$	1.716 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

$$\eta = \sqrt{10(5+\xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

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]	$S_e$ [g]
	0.000	0.043
$T_B$	0.122	0.111
$T_C$	0.366	0.111
	0.431	0.094
	0.495	0.082
	0.559	0.073
	0.623	0.065
	0.688	0.059
	0.752	0.054
	0.816	0.050
	0.880	0.046
	0.945	0.043
	1.009	0.040
	1.073	0.038
	1.138	0.036
	1.202	0.034
	1.266	0.032
	1.330	0.031
	1.395	0.029
	1.459	0.028
	1.523	0.027
	1.587	0.026
	1.652	0.025
$T_D$	1.716	0.024
	1.825	0.021
	1.934	0.019
	2.042	0.017
	2.151	0.015
	2.260	0.014
	2.369	0.012
	2.477	0.011
	2.586	0.010
	2.695	0.010
	2.804	0.009
	2.912	0.008
	3.021	0.008
	3.130	0.007
	3.239	0.007
	3.347	0.006
	3.456	0.006
	3.565	0.005
	3.674	0.005
	3.782	0.005
	3.891	0.005
	4.000	0.004

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

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD**
**Parametri indipendenti**

STATOLIMITE	SLD
$a_{av}$	0.007 g
$S_s$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.587
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_v(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.007
$T_B$	0.050	0.011
$T_C$	0.150	0.011
	0.235	0.007
	0.320	0.005
	0.405	0.004
	0.490	0.003
	0.575	0.003
	0.660	0.003
	0.745	0.002
	0.830	0.002
	0.915	0.002
$T_D$	1.000	0.002
	1.094	0.001
	1.188	0.001
	1.281	0.001
	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	0.000
	2.031	0.000
	2.125	0.000
	2.219	0.000
	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.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>67 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	67 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	67 di 78								

## 1.2 ANALISI DELLA STRUTTURA

### *Codici di calcolo utilizzati*

Per il calcolo delle sollecitazioni gravanti sugli elementi strutturali e per le verifiche di resistenza si è fatto ricorso al codice di calcolo “SAP2000”.

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

lunghezze: m

forze: kN

masse: kN massa

temperature: gradi centigradi °

angoli: gradi sessadecimali.

### *Affidabilità del software*

La documentazione fornita a corredo dei software contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati.

### *Modellazione dell'opera*

L'analisi della struttura in esame è stata effettuata attraverso una modellazione agli elementi finiti.

La struttura è stata modellata con un modello numerico nelle tre dimensioni nello spazio, il sistema di riferimento assunto prevede una terna destrorsa il cui asse X è orientato in direzione nord e l'asse Z verticale positivo verso l'alto.

La trave di fondazione è modellata tramite elementi beam su suolo elastico alla Winkler, attraverso l'introduzione di molle verticali.

Seguono alcune immagini rappresentative del modello di calcolo:

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA E21D	LOTTO 05 D 10	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0103 002	REV. A	FOGLIO 68 di 78

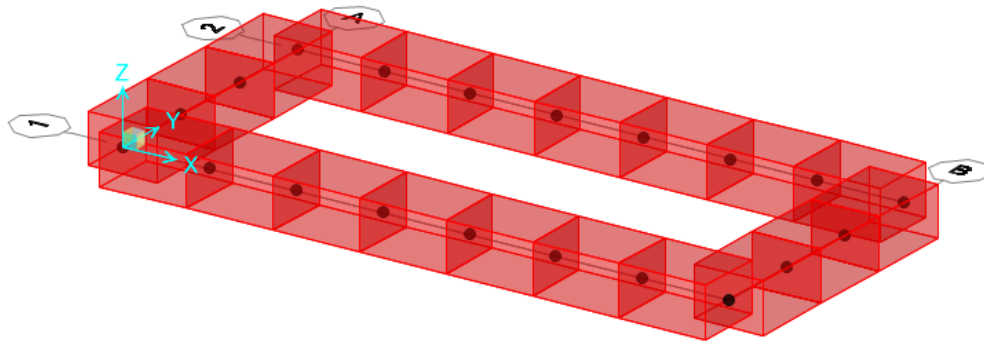


Figura 14: Modello strutturale

Si riportano i carichi applicati al basamento (i carichi vengono applicati nei 4 appoggi dello shelter).

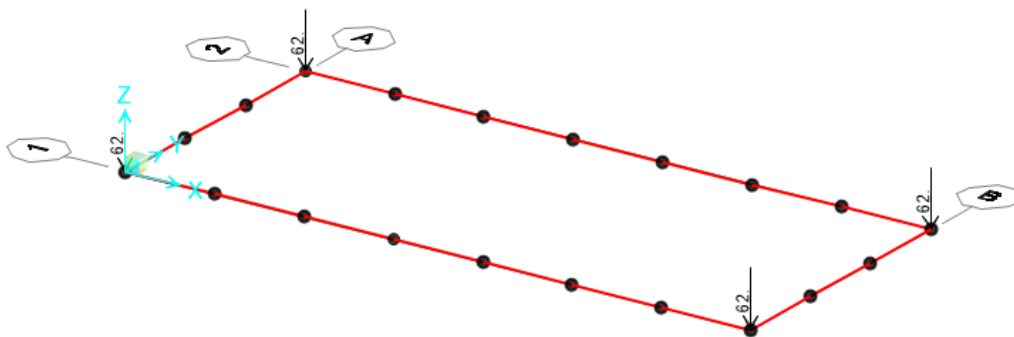


Figura 15: Carico G2

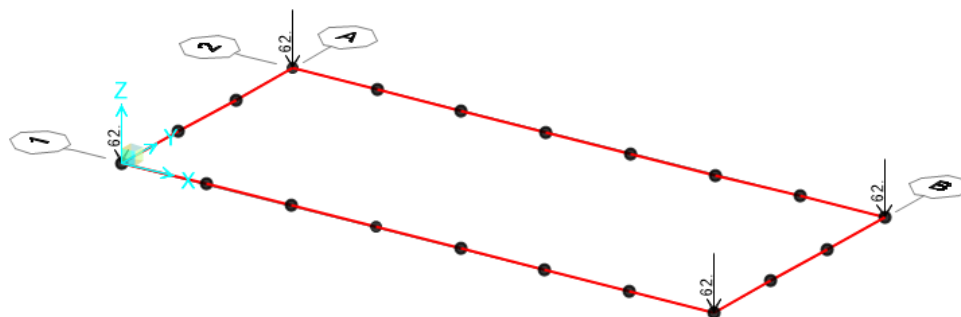


Figura 16: Carico Qk1 - Manutenzione

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>69 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	69 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	69 di 78								

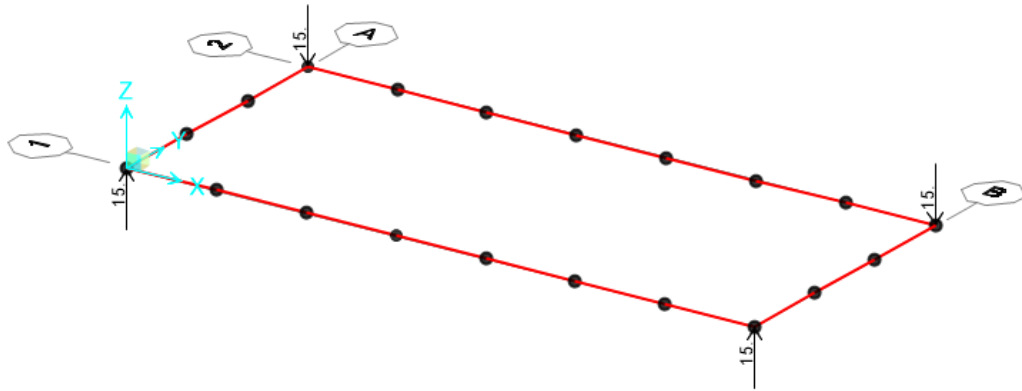


Figura 17: Carico Qk2 – Vento

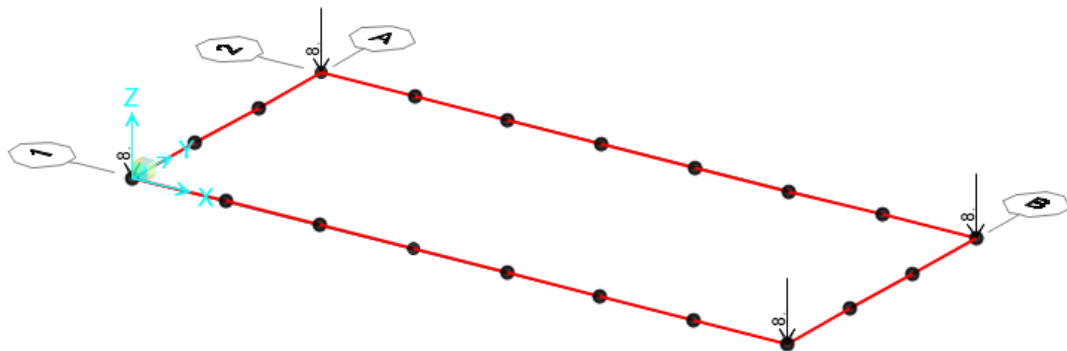


Figura 18: Carico Qk3 – Neve

## 7.2 COMBINAZIONI

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verrà eseguito mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e quelle agli stati limite d'esercizio (SLE), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni .

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<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>05 D 10</td> <td>CL</td> <td>FA0103 002</td> <td>A</td> <td>70 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	70 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	70 di 78								

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

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

Dove:

Azioni Permanenti (G);

Azioni Variabili (Q);



Azioni di Precompressione (P);

Azioni Eccezionali (A);

Azioni Sismiche (E);

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla seguente tabella:

Destinazione d'uso/azione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
---------------------------	----------	----------	----------

 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>Relazione di calcolo strutturale</b>	<table 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;">05 D 10</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">FA0103 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">71 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	71 di 78
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	71 di 78								

Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini,...	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli <= 30kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli > 30kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota <= 1000 m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota > 1000 m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati dalla seguente tabella:

Azione		Coefficiente parziale	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
	<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA E21D	LOTTO 05 D 10	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0103 002	REV. A

Accidentali	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

I valori dei coefficienti parziali per i parametri del terreno  $\gamma_M$  sono dati dalla seguente tabella:

Parametro	Coefficiente parziale $\gamma_m$	
	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio $\tan \phi'_k$	1,00	1,25
Coesione efficace $c'_k$	1,00	1,25
Resistenza non drenata $c_{uk}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume di terreno $\gamma$	1,00	1,00

Le verifiche SLU, di tipo geotecnico (GEO) e strutturale (STR) sono svolte secondo NTC 2018 e quindi in riferimento alla combinazione A1 + M1 + R3.

Si riportano di seguito le combinazioni implementate nel modello:

Combinazione	PP	G2	Qk1-Var	Qk2-Vento	Qk3 - Neve	Ez	
SLU1		1.3 1..5	1.5	0.9	0.75	0	
SLU2		1.3	1.5	0	1.5	0.75	0
SLU3		1.3	1.5	0	0.9	1.5	0
SLV		1	1	0	0	0	1
SLER1		1	1	1	0.6	0.5	0
SLER2		1	1	0.6	1	0.5	0
SLER3		1	1	0.6	0.6	1	0



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA E21D	LOTTO 05 D 10	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0103 002	REV. A	FOGLIO 73 di 78

SLEQP

1

1

0

0

0

0

### 7.3 SOLLECITAZIONI MASSIME

Nelle rappresentazioni che seguono, il momento positivo tende le fibre di sopra nella combinazione più gravosa (SLU1).

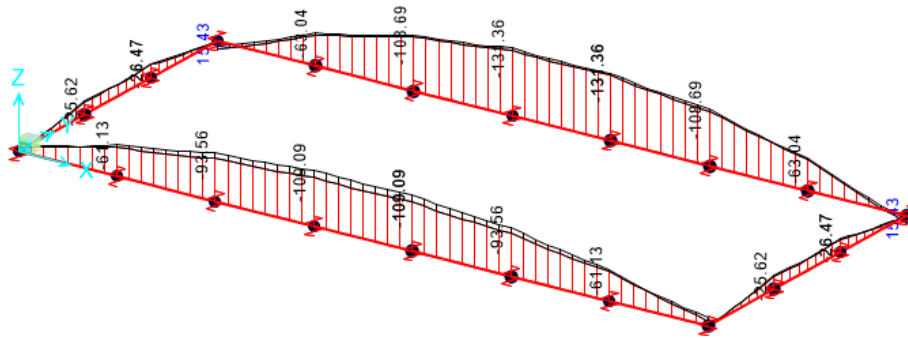


Figura 19: Momento SLU

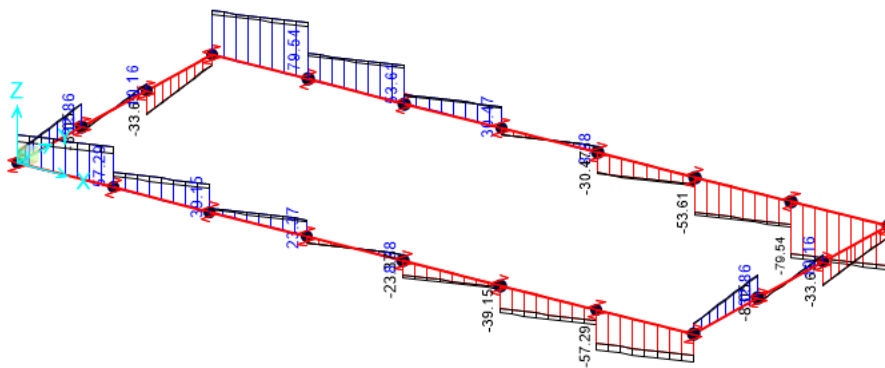


Figura 20: Taglio SLU

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA E21D	LOTTO 05 D 10	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0103 002	REV. A	FOGLIO 74 di 78

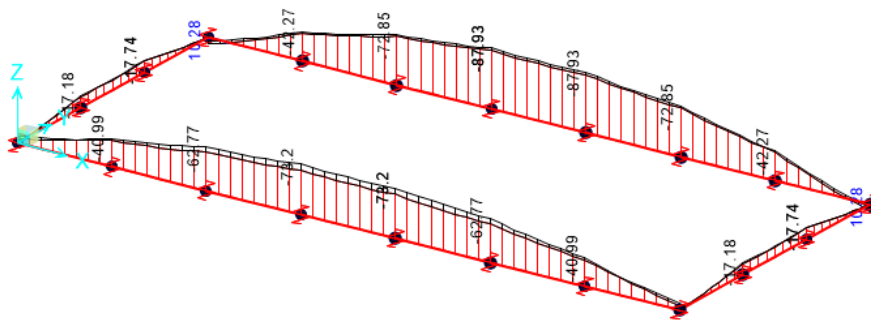


Figura 21: Momento SLE

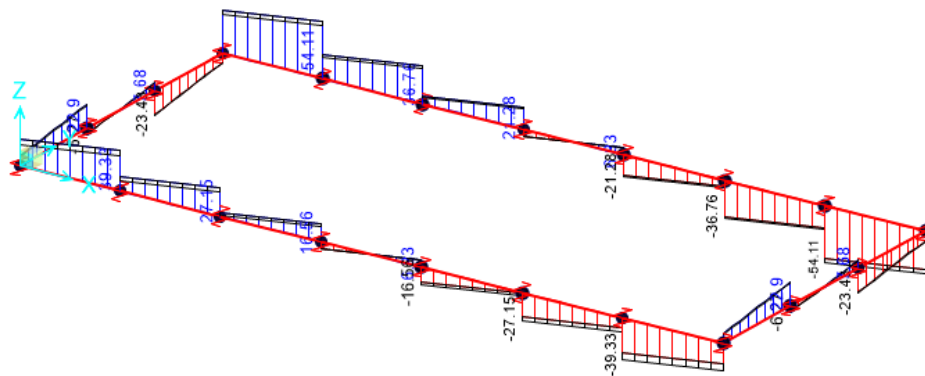


Figura 22: Taglio SLE

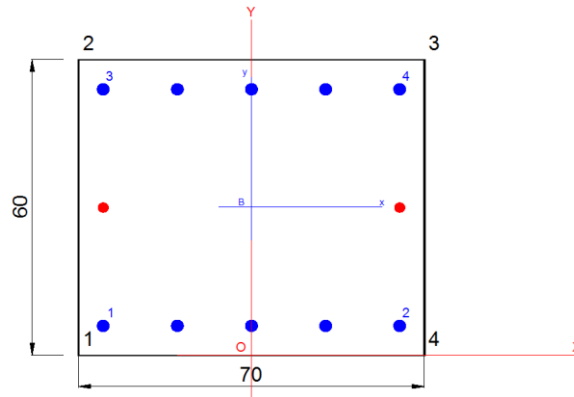
#### 7.4 VERIFICHE ALLO SLU E SLE

Seguono le verifiche della fondazione, effettuate attraverso il software RC-SEC. La verifica a taglio viene effettuata tramite un calcolo manuale.

La trave di fondazione 70x60 è armata con 5  $\phi 20$  al lembo superiore inferiore e 1  $\phi 16$  corrente di parete

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	75 di 78


**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.5 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.5 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C30/37

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-35.0	0.0
2	-35.0	60.0
3	35.0	60.0
4	35.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	76 di 78

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-30.0	6.0	20
2	30.0	6.0	20
3	-30.0	54.0	20
4	30.0	54.0	20

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	20
2	3	4	3	20
3	1	3	1	16
4	2	4	1	16

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	8 mm
Passo staffe:	7.8 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	130.00	0.00	70.00	0.00

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	80.00 (148.04)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

 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>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO E21D    05 D 10    CL    FA0103 002    A    77 di 78

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	13.0 cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.2 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	130.00	0.00	0.00	353.50	0.00	2.72	19.7(6.3)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.125	-35.0	60.0	0.00039	-30.0	54.0	-0.02449	-30.0	6.0

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000518317	-0.027599033	0.125	0.700

### VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	8 mm
Passo staffe:	7.8 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]

**Relazione di calcolo strutturale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	05 D 10	CL	FA0103 002	A	78 di 78

Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna. I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm <sup>2</sup> /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm <sup>2</sup> /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	70.00	997.14	612.76	54.0	70.0	2.500	1.000	1.5	12.9(0.0)

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.56	-35.0	60.0	-99.5	15.0	6.0	1050	15.7

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00057	0.00000	0.836	20.0	50	0.00030 (0.00030)	550	0.164 (0.20)	148.04	0.00