

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

### RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

### APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

FV01 - Fermata di Bergamo Ospedale

ELABORATI STRUTTURALI

Relazione di calcolo strutture fabbricato

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 2 D 2 6 C L F V 0 1 0 0 0 0 4 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau 	Marzo 2020	A. Cimorelli 	Marzo 2020	M. Berlingieri 	Marzo 2020	A. Perego  M. BERLINGIERI DOTT. ING. PEREGO ANDREA Sez. settore: a) civile e ambientale b) urbanistica c) dell'informazione n. A. 32-28 MILANO CODICE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI MILANO

File: NB1R02D26CLFV01000004A

n. Elab.:



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO  
 APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA  
 DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
 FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FV0100 004	A	2 DI 109

## Sommario

1	Scopo del Documento .....	4
2	Normativa di Riferimento .....	5
3	Caratteristiche dei Materiali .....	7
3.1	Acciaio da carpenteria .....	7
3.2	Calcestruzzo Strutture di Fondazione .....	7
3.3	Acciaio da c.a. ....	8
4	Caratterizzazione geotecnica .....	9
4.1	Calcolo del modulo di reazione .....	9
5	Descrizione del fabbricato .....	10
6	Modellazione della Struttura .....	13
7	Analisi Modale .....	22
7.1	Analisi di buckling .....	24
8	Analisi dei Carichi .....	26
8.1	Peso Proprio degli Elementi Strutturali .....	26
8.2	Carichi Permanenti Non Strutturali .....	26
8.3	Carichi Variabili .....	26
8.4	Azione della Neve .....	27
8.5	Azione del Vento .....	28
8.6	Azione del Vento in copertura .....	31
8.7	Azione Termica .....	32
8.8	Azione Sismica .....	33
8.8.1	Struttura in elevazione .....	33
8.8.2	Struttura completa (elevazione+fondazione) .....	36
9	Combinazioni di Carico .....	37
10	Sollecitazioni .....	53
11	VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI .....	59
11.1	Criteri di verifica delle sezioni in acciaio .....	59
11.2	Esito delle verifiche .....	67
11.2.1	Colonna HEB300 .....	68
11.2.2	Trave HEA200 .....	70
11.2.3	Trave UPN200 .....	72
11.3	Verifiche di deformabilità .....	74
11.3.1	Spostamenti verticali .....	74




**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO  
 APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA  
 DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
 FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FV0100 004	A	3 DI 109

11.3.2	Spostamenti orizzontali.....	75
11.3.3	Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali .....	77
12	Verifiche Fondazione .....	80
12.1	Verifiche SLU – STR .....	80
12.1.1	Sezione 70x50.....	83
12.1.2	Sezione 40x50.....	87
12.1.3	Verifica giunto di base .....	91
12.2	Verifiche di portanza .....	101
12.3	Valutazione dei cedimenti .....	106
13	Conclusioni .....	108
14	Allegato .....	109

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b></p> <p><b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>FA0100 004</td> <td>A</td> <td>4 DI 109</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	4 DI 109
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	4 DI 109								


## 1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento si inquadra nell’ambito delle opere civili relative alla Progettazione Definitiva del raddoppio Ponte S. Pietro – Bergamo – Montello.

In particolare, la presente relazione di calcolo ha come oggetto le verifiche strutturali delle opere relative al fabbricato viaggiatori FV01, che verrà realizzato presso la stazione esistente di Bergamo Ospedale.

Nel seguito, dopo una breve descrizione dell’opera, si analizzano le azioni gravanti sulla struttura e si determinano le massime sollecitazioni per le verifiche strutturali.

Le analisi sono state svolte in accordo al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”, nel seguito indicato con NTC 2018. Le verifiche strutturali sono state svolte con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b></p> <p><b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b></p>										
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>02</td> <td>D 26 CL FA0100 004</td> <td>A</td> <td>5 DI 109</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26 CL FA0100 004	A	5 DI 109
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO							
NB1R	02	D 26 CL FA0100 004	A	5 DI 109							

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:


- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. del 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (NTC 2018);
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17.01.2018;
- UNI EN 206:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI EN 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione. prestazione. produzione e conformità - Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206;
- EN 1991-2:2003/AC:2010 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”.
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali”.
- UNI EN 1998-1:2013 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 2 – “Ponti e strutture” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 3 – “Corpo stradale” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – “Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili”.
- UIC CODE 777-2R “Structures built over railway lines-Construction requirements in the track zone”
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019; Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO****APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	6 DI 109

Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019

- Regolamento UE N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019
- Regolamento (UE) N. 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea modificata con la Rettifica del 15 giugno 2016 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/772 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica il regolamento (UE) n. 1300/2014 per quanto riguarda l'inventario delle attività al fine di individuare le barriere all'accessibilità, fornire informazioni agli utenti e monitorare e valutare i progressi compiuti in materia di accessibilità.
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/776 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabiliti nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Acciaio da carpenteria

Per la realizzazione della struttura si prevede l'utilizzo di acciaio S355, che presenta le seguenti caratteristiche:


- Tensione di snervamento caratteristica →  $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura →  $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio →  $\gamma_s = 1,05$
- Resistenza a trazione di calcolo →  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 338 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico →  $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Densità →  $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

#### 3.2 Calcestruzzo Strutture di Fondazione

Per la realizzazione della fondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ ), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cilindrica) →  $f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione → XC2
- Classe di Consistenza → S4/S5
- Resistenza Media a Compressione →  $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico →  $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 31.475 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza →  $\gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione →  $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 14,17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media →  $f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione →  $f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo →  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,20 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara) →  $\sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 15,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente) →  $\sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 11,25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza →  $f_{bk} = 2,25 \eta f_{ctk} = 4,04 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo →  $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c / 1,5 = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura →  $\epsilon_{cu} = 0,0035$

Per gli elementi strutturali della fondazione si assume un copriferro di 50 mm (valutato al netto della staffa).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

Per quanto riguarda la scelta degli stati limite di fessurazione, si fa riferimento a quanto riportato nella Tabella 4.1.IV delle NTC 2018, assumendo di trovarsi in condizioni ambientali ordinarie (vedi Tab. 4.1.III NTC 2018) con armatura poco sensibile; i limiti adottati per la verifica nei confronti di tale stato limite sono riportati di seguito:

Combinazione delle Azioni Frequente  $\rightarrow w_d \leq w_3 = 0,4 \text{ mm}$   
 Combinazione delle Azioni Quasi Permanente  $\rightarrow w_d \leq w_2 = 0,3 \text{ mm}$

### 3.3 Acciaio da c.a.

Barre B450C

- Tensione di snervamento caratteristica  $\rightarrow f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura  $\rightarrow f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio  $\rightarrow \gamma_s = 1,15$
- Resistenza a trazione di calcolo  $\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione (Comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_s = 0,80 \times f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico  $\rightarrow E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione di Snervamento di Progetto  $\rightarrow \varepsilon_{yd} = 0,0019$
- Densità  $\rightarrow \rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$





**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	9 DI 109

**4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

Per il materiale costituente il terreno interessato dalle costruzioni in progetto, sono state considerate le seguenti caratteristiche mostrate in tabella:

Strato	Profondità media	Profondità media	Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
R	0	2	S(G)	Sabbia fine con ghiaia
Ug1	2	10.5	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia
Ug3	10.5	15	A(S), A,S	Argilla sabbiosa e argilla con sabbia
Ug1	15	30	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v^{(*)}$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
R	19	0.53	28	0	-	8	20	2	4	0.25	1.00E-06
Ug1	20	0.5	30	0	-	50 - 80	125 - 200	5	10	0.25	1.00E-06
Ug3	19	0.60	24	0	35 - 40	40 - 48	100 - 120	10	15	0.25	1.00E-10
Ug1	20	0.38	35	0	-	120	300	30	40	0.25	1.00E-06


Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità.
- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$  per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .
- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di "primo carico" (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

La falda si ipotizza ad una profondità media di 8 metri da p.c.

**4.1 Calcolo del modulo di reazione**

Per il modulo di reazione del terreno alla Winkler  $k_s$ , che concettualmente rappresenta il rapporto tra la pressione sul terreno e il cedimento, si utilizza il valore di  $k_s = 10.000 \text{ kN/m}^3$ , in analogia con le altre opere previste nel raddoppio.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

## 5 DESCRIZIONE DEL FABBRICATO

Per il nuovo Fabbricato viaggiatori si prevede una struttura intelaiata in acciaio che si sviluppa su un piano fuori terra. L'edificio ha dimensione rettangolare in pianta copertura piana di dimensioni circa 23,80(parallela al binario)×7,70m, comprensive di sbalzi di 2,61 (lato est), 1,19 m (lato ovest), 1,19 m (lato nord) e 1,24 m (lato sud). L'angolo della copertura nord-est è tagliato a 45° in pianta. L'altezza massima è pari a 4,25 m dallo spiccatto della fondazione.

Gli elementi strutturali verticali sono costituiti da 7+7 colonne di sezione HEB300, su maglie di lato variabile 3,00/4,30/3,33/1,75 m (parallelo al binario) x 5,00 m; le travi hanno sezione HEA200, mentre quelle esterne di chiusura hanno sezione UPN200. La copertura è composta tramite pannelli prefabbricati.

La fondazione è realizzata con travi rovesce in c.a., avente sezione 0,7x0,5m ed 0,4x0,5m.

Le tamponature esterne sono realizzate in vetro.

La pavimentazione interna è realizzata con un pavimento in gres, poggiato su una soletta di ripartizione di 6 cm; questo a sua volta è posto su un vespaio aerato costituito da igloo di 45 cm e soletta in c.a. di 15 cm armata con rete elettrosaldata.

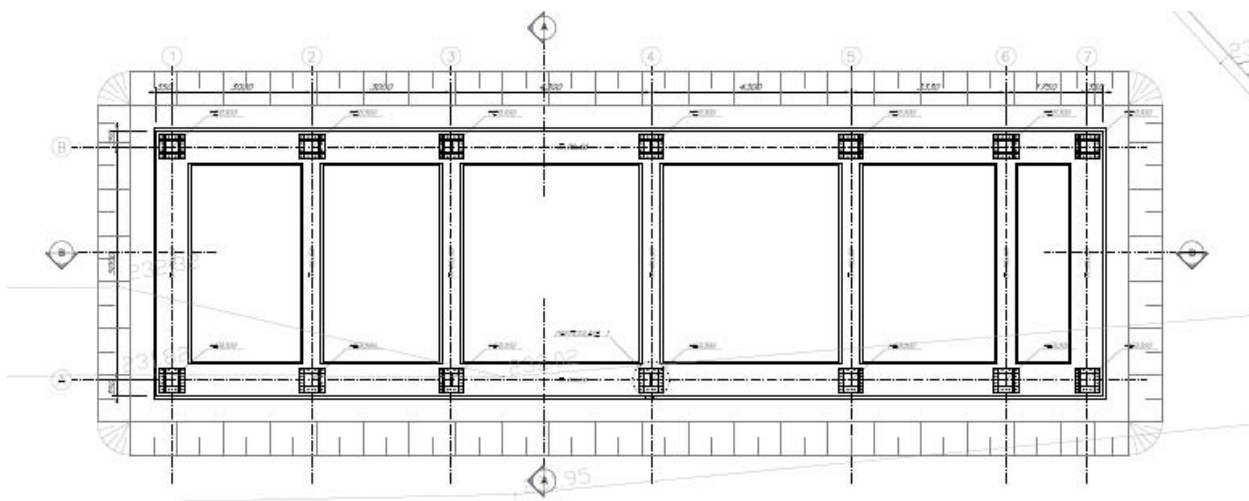
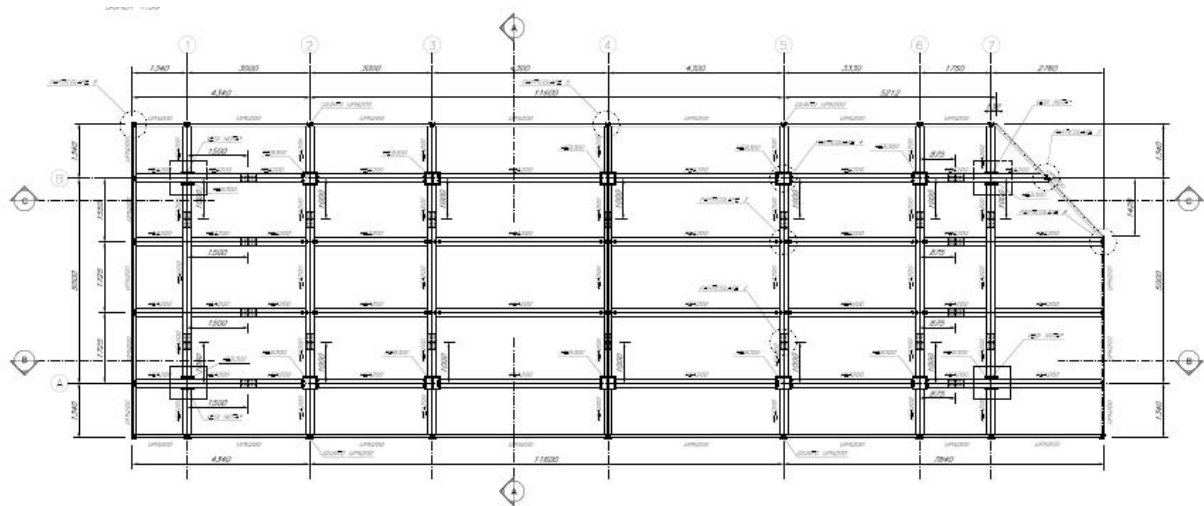
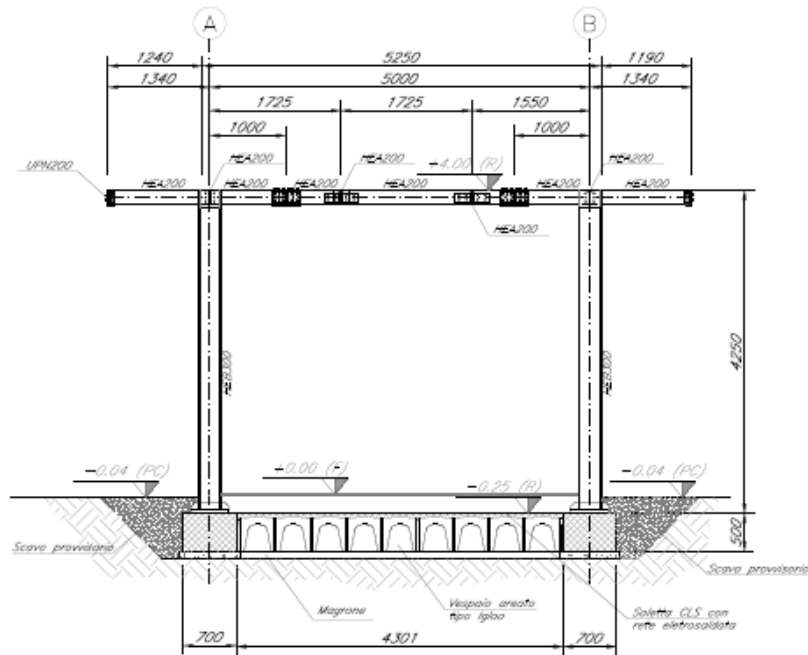


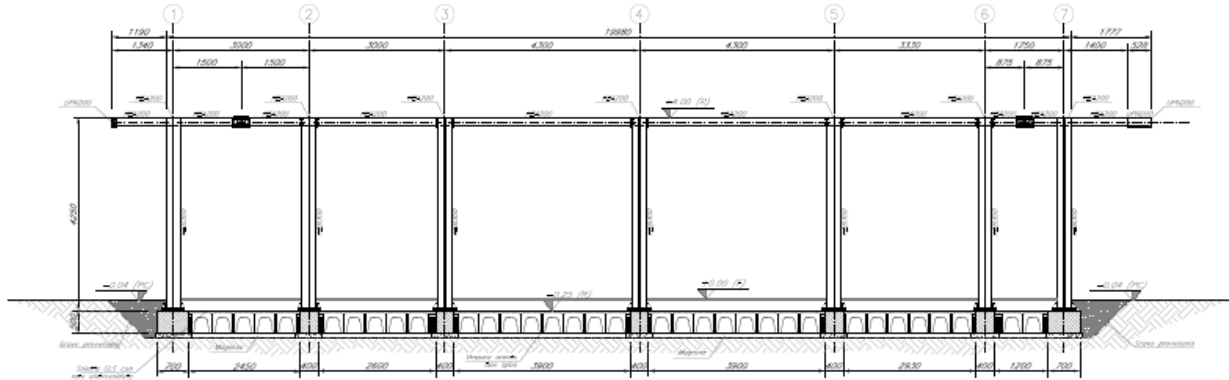
Figura 5.1 – Pianta fondazione




**Figura 5.2 – Pianta Copertura**



**Figura 5.3 – Sezione A – A**



**Figura 5.4 – Sezione C – C**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A	FOGLIO 13 DI 109

## 6 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

L'analisi della struttura è condotta con il programma agli elementi finiti SAP2000, seguendo quanto specificato dalle NTC 2018 al § 7.2.6.

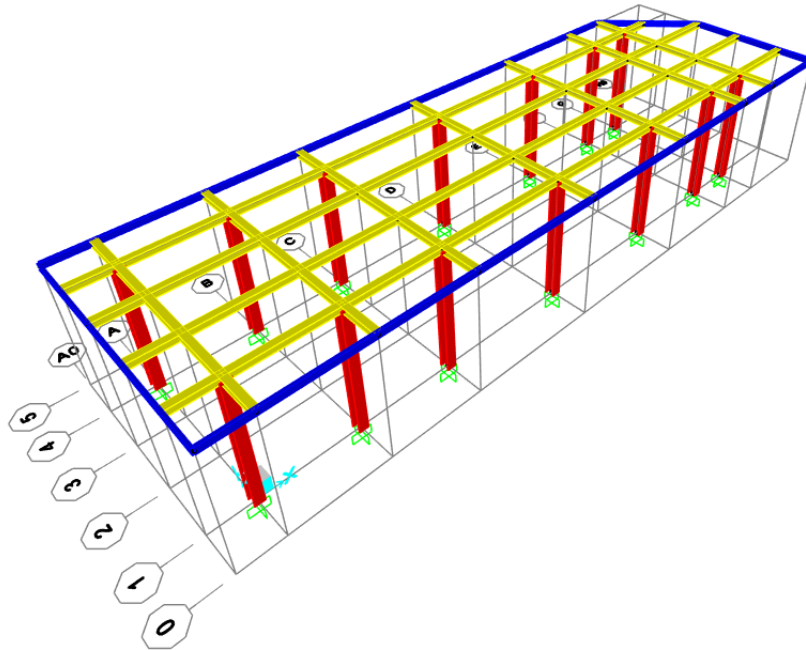
In particolare, vengono realizzati due distinti modelli agli elementi finiti per l'individuazione delle sollecitazioni che interessano rispettivamente la struttura in elevazione e le fondazioni del fabbricato.

Per individuare le sollecitazioni che interessano gli elementi della struttura in elevazione, viene realizzato un modello tridimensionale in cui sono inseriti gli elementi strutturali principali (travi e colonne modellati con elementi finiti monodimensionali tipo *frame*). In questo modello la fondazione non è rappresentata e le colonne sono vincolate alla base con un vincolo di tipo incastro. Lo schema statico prevede in direzione Y telai monodirezionali con travi incastrate in sommità dei pilastri; in direzione X le travi sono considerate vincolate al pilastro tramite vincolo di sola traslazione (rilascio di momento M3 ed M2); in corrispondenza degli sbalzi sono previsti nodi saldati (non rilasciati) al fine di evitare sollecitazioni torcenti sulle travi.

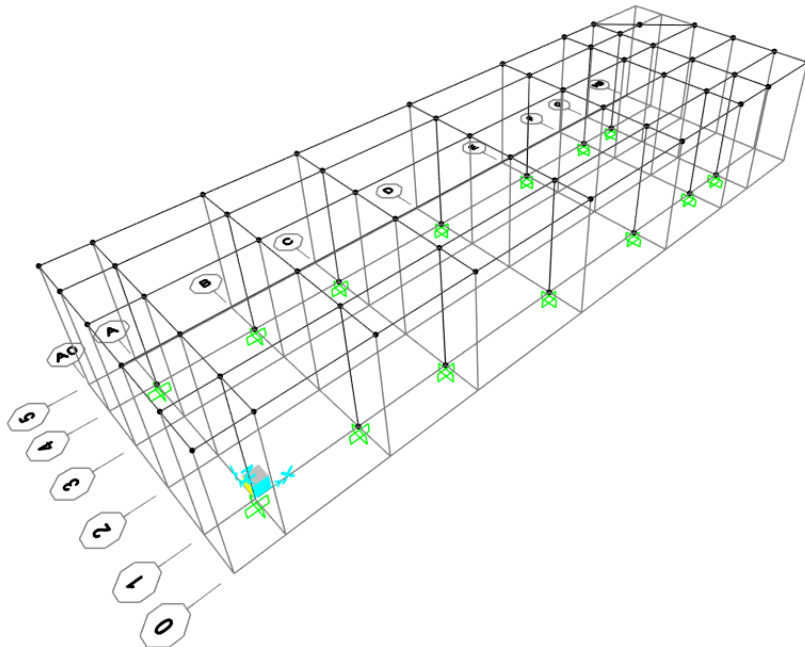
Le tamponature e i solai non vengono modellati direttamente, ma sono rappresentati unicamente in termini di massa; gli orizzontamenti non saranno considerati infinitamente rigidi nel loro piano (NTC 2018, § 7.2.6).

Per individuare le sollecitazioni che interessano gli elementi della struttura in fondazione, viene creato un secondo modello in cui, al posto dei vincoli ideali, vengono inserite le travi di fondazione modellata con elementi di tipo *frame*. Le travi vengono vincolate con molle elastiche secondo la teoria di Winkler.

Il calcoli sono svolti assumendo per la struttura un comportamento 'Non Dissipativo'.



**Figura 6.1 - Vista assonometrica modello struttura in elevazione - elementi estrusi**



**Figura 6.2 – Vista assonometrica modello struttura in elevazione**



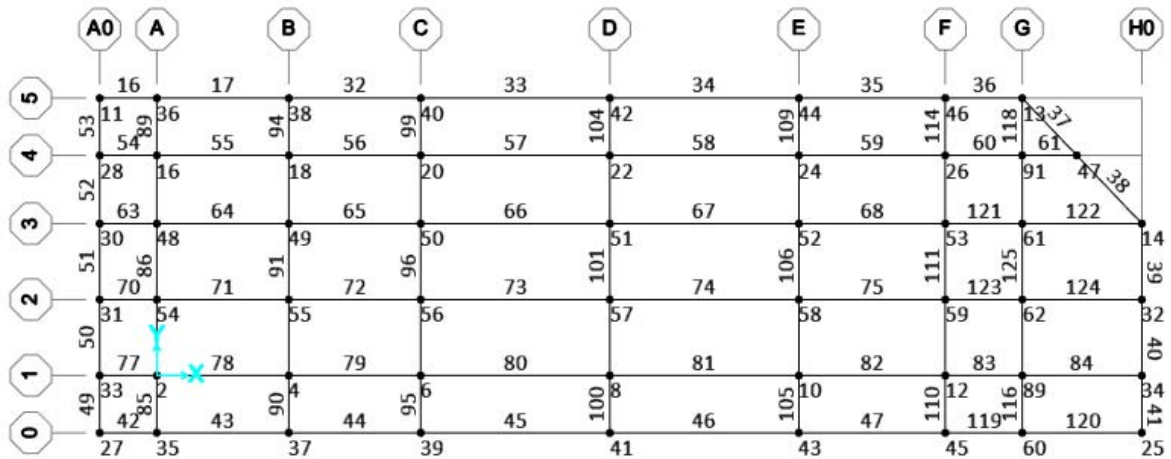
**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

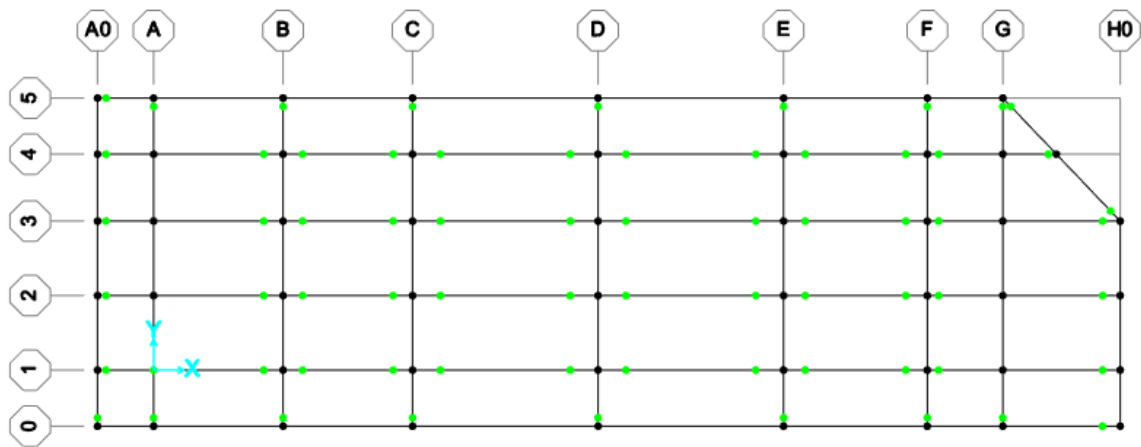
**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

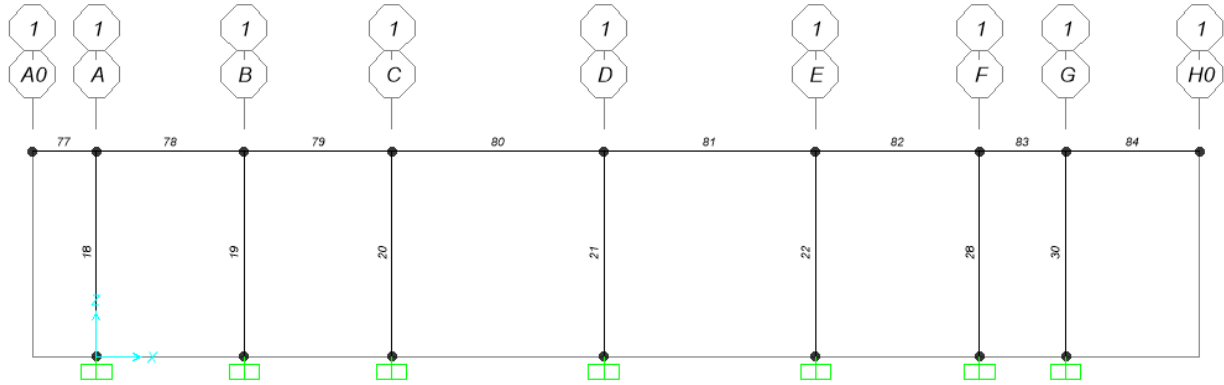
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	15 DI 109



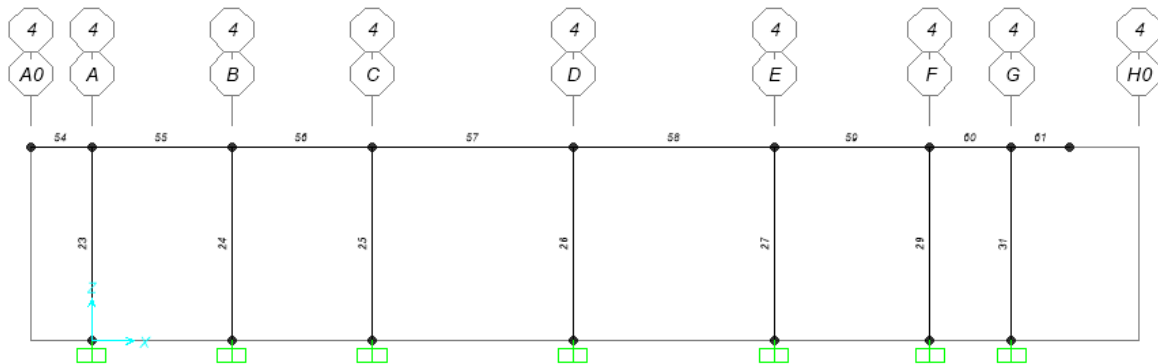
**Figura 6.3** – Vista in pianta modello struttura in elevazione – Piano 1 z = 4,15 - numerazione elementi frame e joint



**Figura 6.4** – Vista in pianta modello struttura in elevazione – Piano 1 z = 4,15 - rilasci



**Figura 6.5** – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo 1 - numerazione elementi frame e joint



**Figura 6.6** – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo 2a - numerazione elementi frame e joint



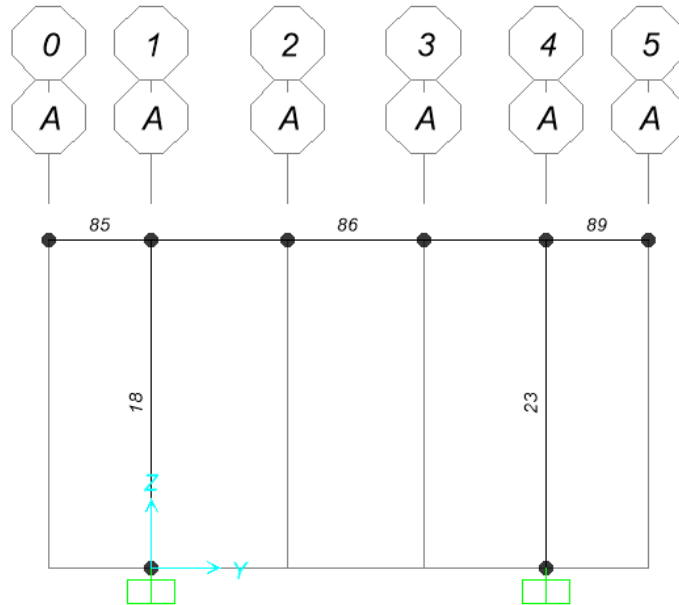


Figura 6.7 – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo A - numerazione elementi frame e joint

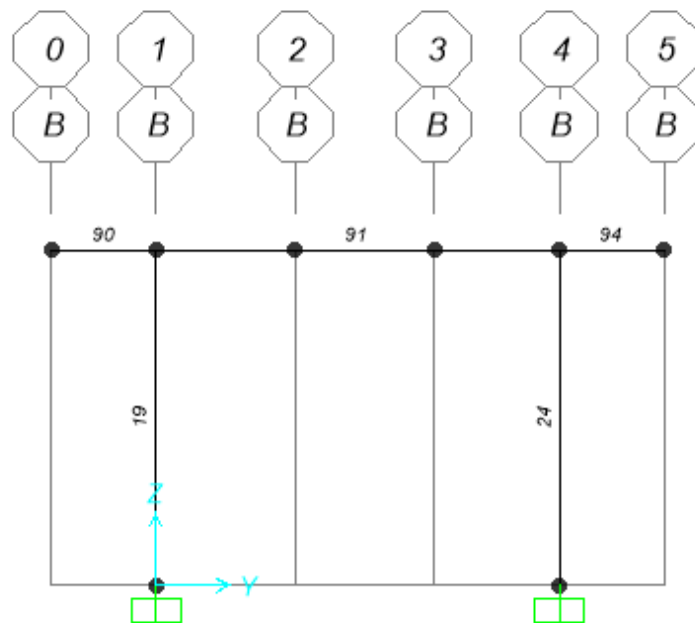
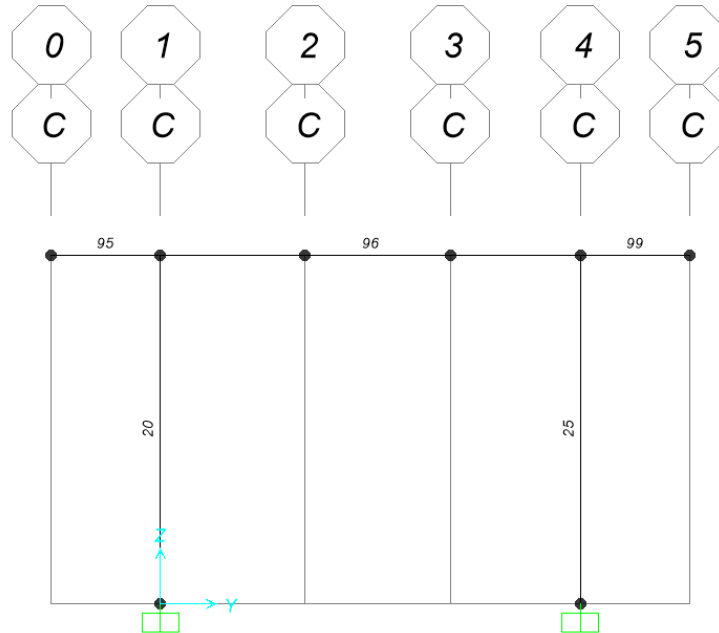
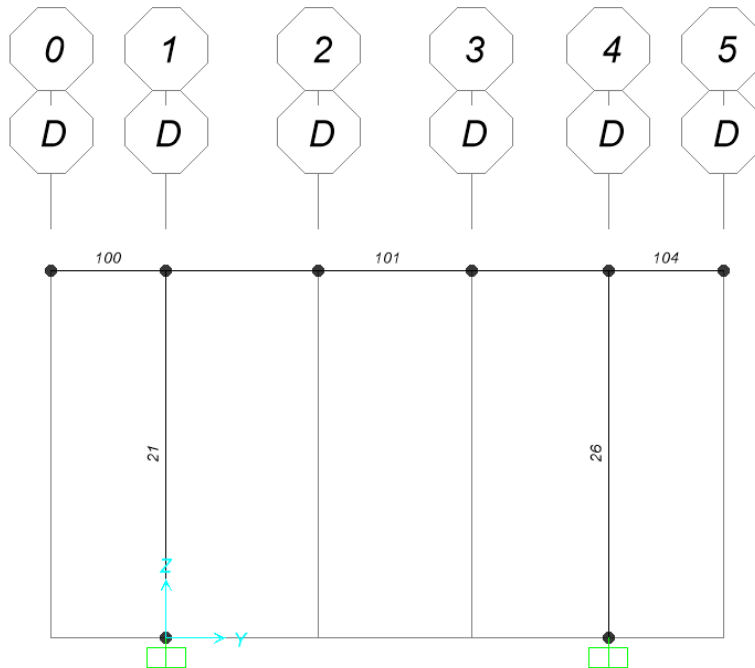


Figura 6.8 – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo B - numerazione elementi frame e joint



**Figura 6.9** – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo C - numerazione elementi frame e joint



**Figura 6.10** – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo D - numerazione elementi frame e joint

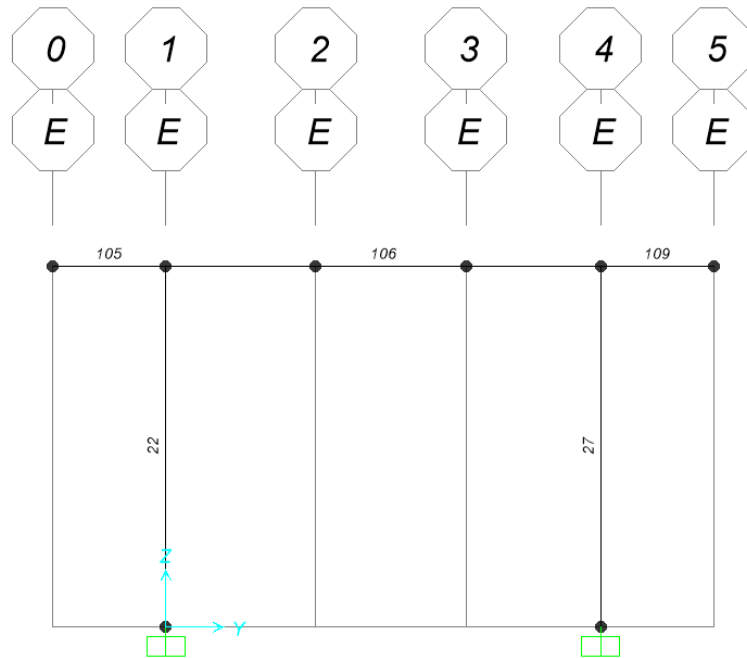


Figura 6.11 – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo E - numerazione elementi frame e joint

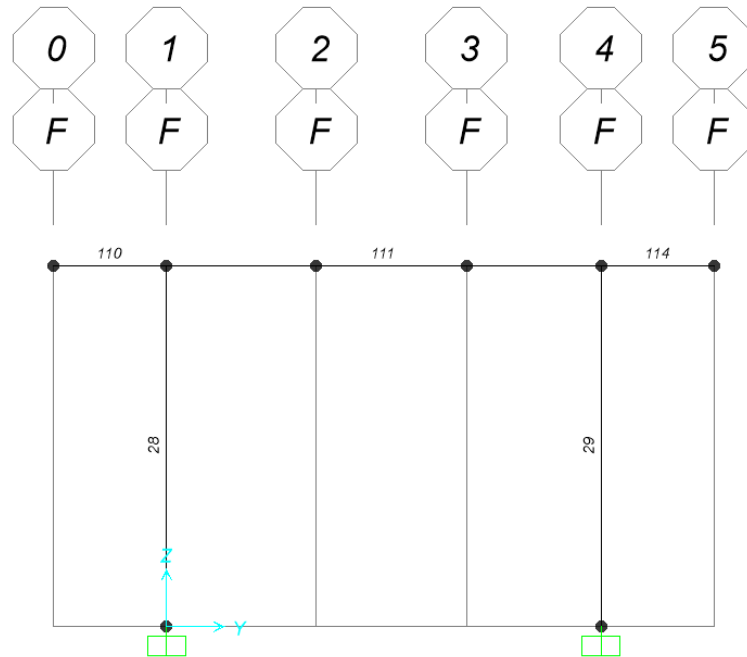
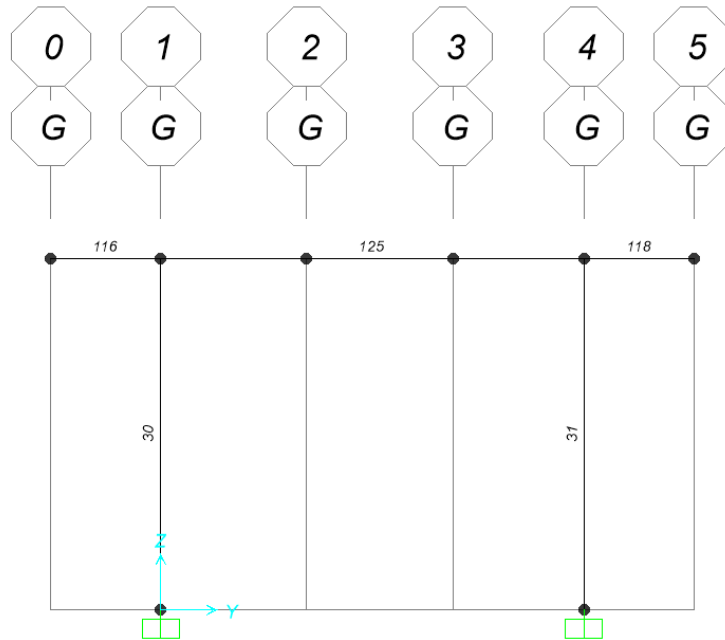
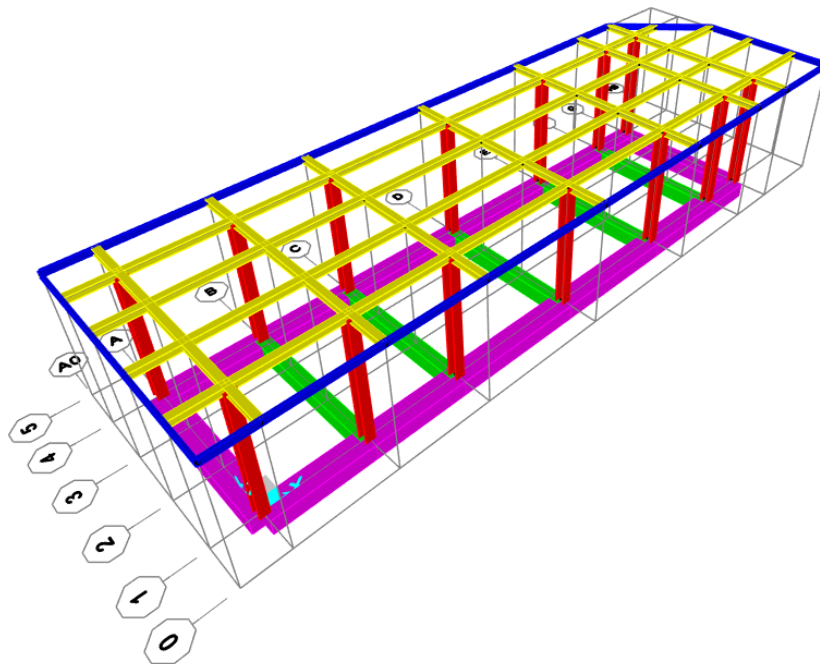


Figura 6.12 – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo F - numerazione elementi frame e joint



**Figura 6.13** – Vista in sezione modello struttura in elevazione –Filo G - numerazione elementi frame e joint



**Figura 6.14** – Vista assonometrica modello struttura elevazione/fondazione



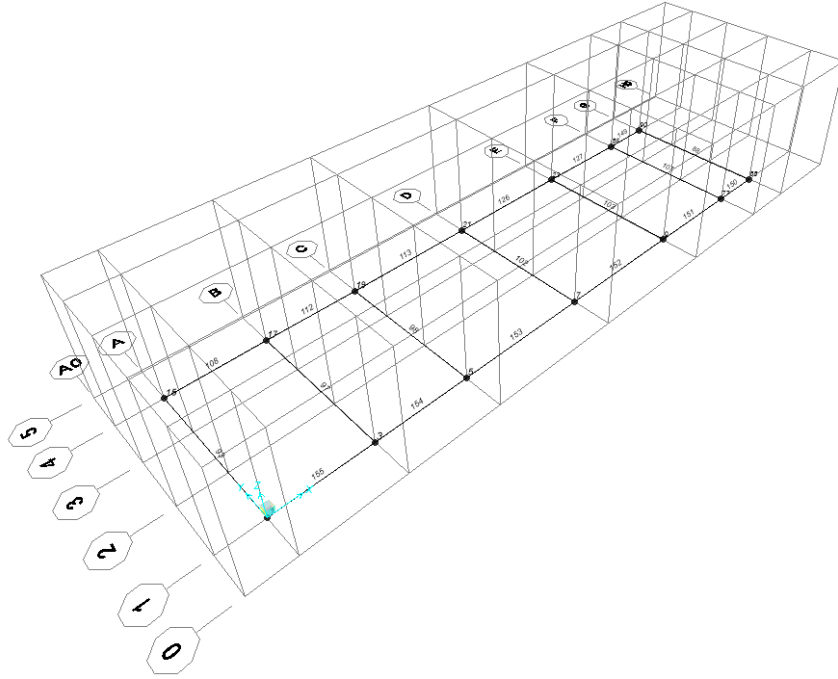
**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	21 DI 109



**Figura 6.15** – Vista assometrica modello struttura elevazione/fondazione - numerazione elementi FRAME



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	22 DI 109

**7 ANALISI MODALE**

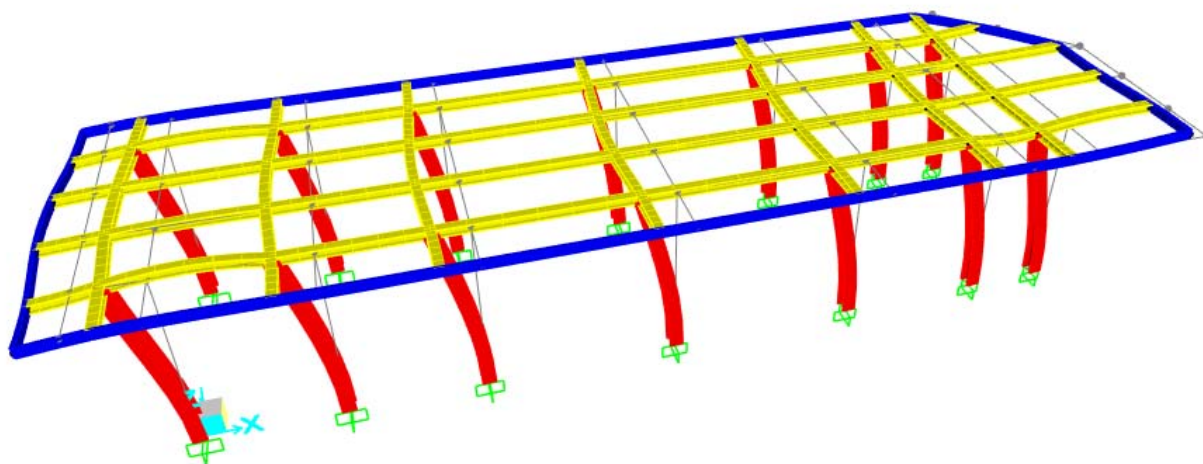
L'analisi modale consente di individuare i modi propri di vibrare della struttura, indipendentemente dalle forzanti che agiscono sulla stessa. Essa permette inoltre di conoscere, per ogni modo di vibrare della struttura, il periodo e la massa partecipante, ovvero la percentuale di massa attivata nella i-esima forma modale.

Secondo quanto riportato al § 7.3.3 delle NTC 2018, devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.

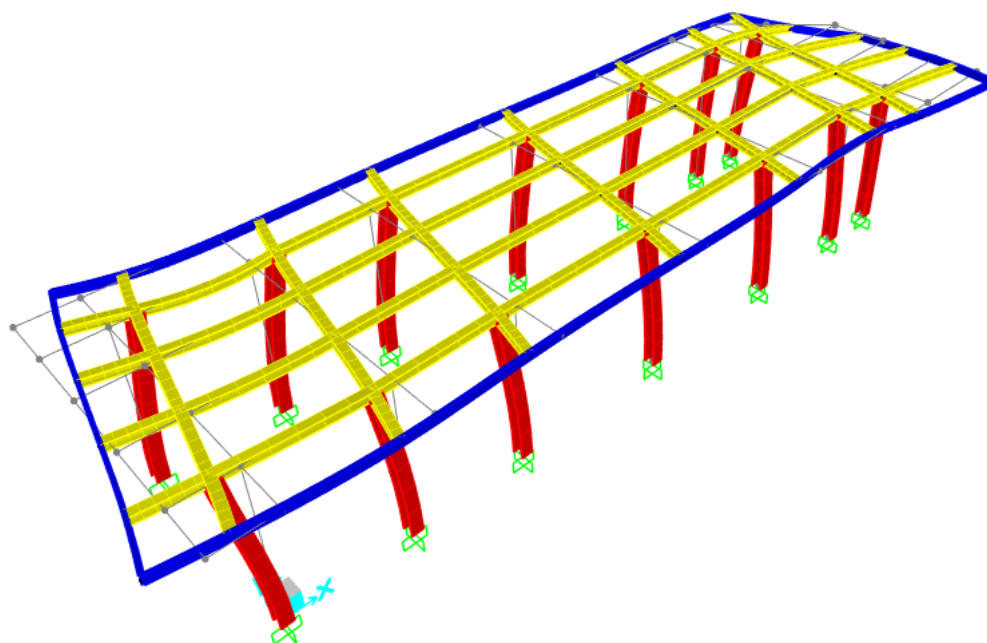
Si riportano di seguito la tabella riassuntiva di periodo e masse partecipanti relative ai primi dieci modi di vibrare e le immagini relative ai primi tre modi di vibrare della struttura.

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

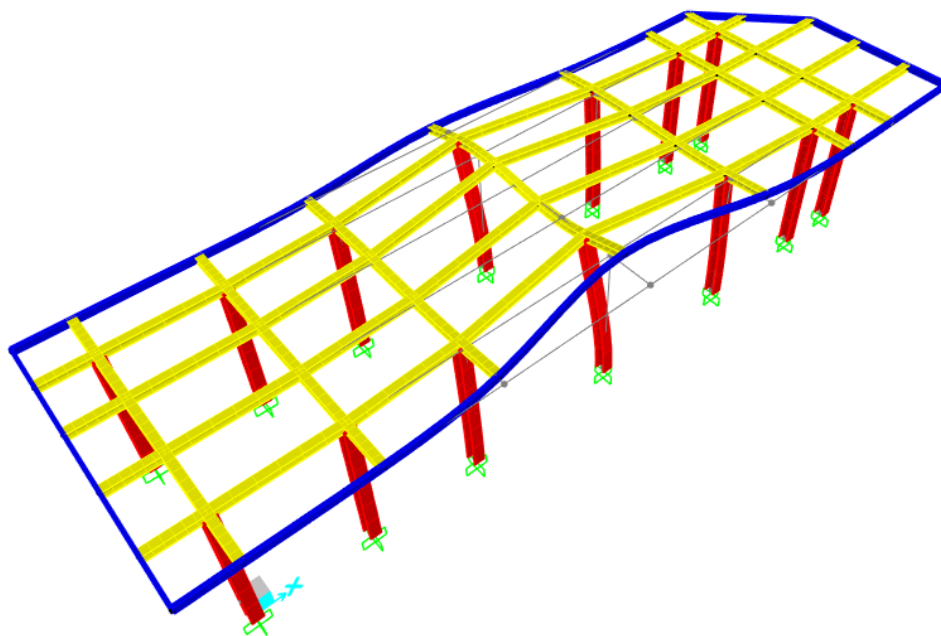
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.41	98.31%	0.01%	98.31%	0.01%	0.13%	0.13%
MODAL	Mode	2	0.36	0.41%	0.22%	98.72%	0.23%	19.22%	19.34%
MODAL	Mode	3	0.26	0.00%	29.92%	98.72%	30.15%	0.07%	19.41%
MODAL	Mode	4	0.24	0.00%	3.56%	98.72%	33.70%	16.10%	35.51%
MODAL	Mode	5	0.23	0.00%	29.79%	98.73%	63.50%	3.43%	38.94%
MODAL	Mode	6	0.22	0.19%	16.45%	98.91%	79.95%	14.33%	53.27%
MODAL	Mode	7	0.22	0.00%	12.23%	98.91%	92.18%	37.84%	91.11%
MODAL	Mode	8	0.19	0.51%	4.13%	99.42%	96.31%	6.31%	97.42%
MODAL	Mode	9	0.18	0.00%	0.96%	99.42%	97.26%	0.18%	97.60%
MODAL	Mode	10	0.16	0.31%	0.25%	99.73%	97.51%	0.38%	97.98%



**Figura 7.1 – Modo 1**



**Figura 7.2 – Modo 2**


**Figura 7.3 – Modo 3**

## 7.1 Analisi di buckling

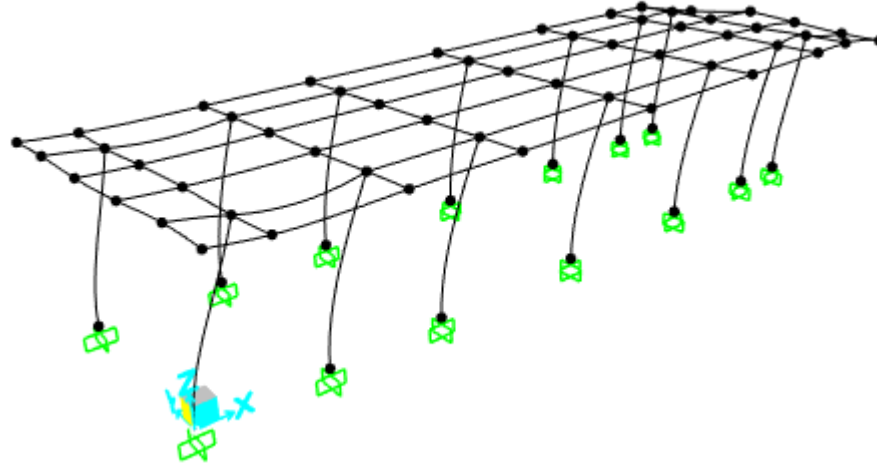
### C4.2.3.4 EFFETTI DELLE DEFORMAZIONI

Nel § 4.2.3.4 delle NTC si stabilisce che l'analisi globale della struttura può essere eseguita con la teoria del primo ordine quando il moltiplicatore dei carichi  $\alpha_{cr}$  che induce l'instabilità della struttura è maggiore o uguale a 10, se si esegue un'analisi elastica, o a 15, se si esegue un'analisi plastica.


Il coefficiente  $\alpha_{cr}$  è il minimo fattore del quale devono essere incrementati i carichi applicati alla struttura per causare il primo fenomeno di instabilità elastica globale, ovvero che coinvolge l'intera struttura. Tali valori possono essere ottenuti da apposite analisi elastiche (o di "buckling") condotte in genere utilizzando programmi di calcolo strutturale od apposite procedure numeriche.

Nel caso particolare risulta  $\alpha_{cr} = 39 > 15$ . Pertanto gli effetti del secondo ordine possono essere trascurati.





**Figura 7.4** – Modo 1 – Buckling  $\alpha_{cr} = 39$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

## 8 ANALISI DEI CARICHI

Come prescritto dalle NTC 2018, sono state considerate agenti sulla struttura diverse condizioni di carico elementari, combinate tra loro in modo da determinare gli effetti più sfavorevoli ai fini delle verifiche dei singoli elementi strutturali. Per il calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali è stato impiegato il programma di calcolo SAP2000.

### 8.1 Peso Proprio degli Elementi Strutturali

Il peso degli elementi strutturali modellati (travi, colonne) viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato, assumendo  $\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$ .

### 8.2 Carichi Permanenti Non Strutturali

- Tamponatura Esterna

Per le chiusure esterne in vetro si assume un peso di 100 kg/mq.

- Copertura


La copertura è così composta:

- Profili a C per creazione pendenze: 25 kg/mq
- lamiera grecata (sp.10/10): 15 kg/mq
- Isolante (lana di roccia) SP.10 cm: 1 kg/mq
- Lamiera acciaio preverniciato, sistema Roofplanet o similare: 16 kg/mq
- Pannelli fotovoltaici in copertura: 25 kg/mq
- Linee vita: 10 kg/mq
- Controsoffitto: 30 kg/mq

Il totale è pari a circa 130 kg/mq. Nel calcolo si adotterà 2.0 kN/mq.

### 8.3 Carichi Variabili

Categoria		Denominazione	Qk [kN/m <sup>2</sup> ]
Solaio di Copertura	Categoria H1 - Coperture Accessibili per sola Manutenzione	Q_H	1,0

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO <b>NB1R</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>D 26 CL</b>	DOCUMENTO <b>FA0100 004</b>	REV. <b>A</b>

#### 8.4 Azione della Neve

L'azione della neve è stata valutata in conformità alle prescrizioni contenute nelle NTC 2018. Di seguito viene riportato il dettaglio del calcolo.

Regione: Lombardia    Provincia: Bergamo    Comune: Bergamo

●	<b>Zona I - Alpina</b> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<b>Zona I - Mediterranea</b> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<b>Zona II</b> Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<b>Zona III</b> Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$

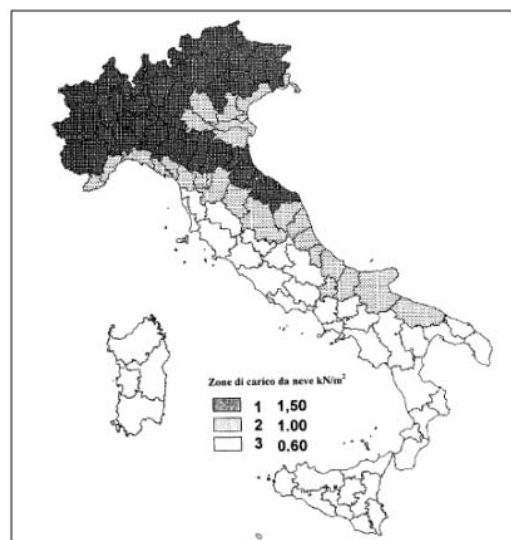
$q_s$ (carico neve sulla copertura [N/mq]) = $\mu_i q_{sk} C_E C_t$ $\mu_i$ (coefficiente di forma) $q_{sk}$ (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq]) $C_E$ (coefficiente di esposizione) $C_t$ (coefficiente termico)
---

#### Valore caratteristico della neve al suolo

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	250
$q_{sk}$ (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1.55

#### Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .



#### Coefficiente di esposizione

Topografia	Descrizione	$C_E$
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

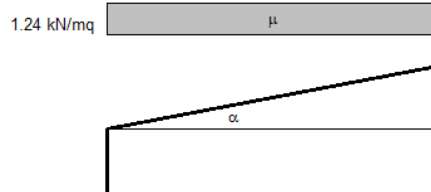
Valore del carico della neve al suolo

$q_s$ (carico della neve al suolo [kN/mq])	1.55
--	------

Coefficiente di forma (copertura ad una falda)

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	0
-----------------------------------	---

$\mu$	0.8
-------	-----



## 8.5 Azione del Vento

L'azione del vento è stata valutata in conformità con le prescrizioni contenute nelle NTC 2018. Di seguito viene riportato il dettaglio del calcolo.

Regione: Lombardia    Provincia: Bergamo    Comune: Bergamo

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$ [1/s]
1	25	1000	0.01
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])		250	
$T_R$ (Tempo di ritorno)		75	
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_s (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])		25.000	
$\alpha_R$ ( $T_R$ )		1.02346	
$v_b$ ( $T_R$ ) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s])		25.586	

$p$ (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$
$q_b$ (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
$c_e$ (coefficiente di esposizione)
$c_p$ (coefficiente di forma)
$c_d$ (coefficiente dinamico)



Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	409.17
--------------	--------

Coefficiente di forma

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.

Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente 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 di esposizione

Classe di rugosità del terreno

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5					
costa					
mare		500m		750m	
2 km		10 km		30 km	
A	--	IV	IV	V	V
B	--	III	III	IV	IV
C	--	*	III	III	IV
D	I	II	II	III	**

\* Categoria II in zona 1,2,3,4  
Categoria III in zona 5  
\*\* Categoria III in zona 2,3,4,5  
Categoria IV in zona 1

ZONA 6					
costa					
mare		500m			
2 km		10 km		30 km	
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
mare			
1.5 km		0.5 km	
costa			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*

\* Categoria II in zona 8  
Categoria III in zona 7

ZONA 9	
costa	
mare	
A	--
B	--
C	--
D	I

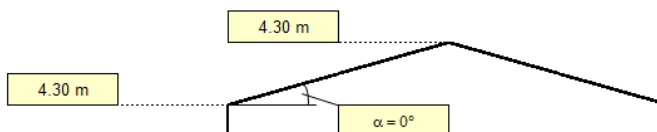
Zona	Classe di rugosità	a <sub>s</sub> [m]
1	C	250

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

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

Cat. Esposiz.	k <sub>r</sub>	z <sub>0</sub> [m]	z <sub>min</sub> [m]	c <sub>t</sub>
III	0.2	0.1	5	1

z [m]	c <sub>e</sub>
z ≤ 5	1.708
z = 4.3	1.708
z = 4.3	1.708



Per il calcolo di C<sub>pi</sub> si fa riferimento a:

**C3.3.8.5 PRESSIONI INTERNE**

Le pressioni interne agli edifici dipendono dalla superficie delle aperture che questi presentano verso l'esterno. Si possono verificare i tre casi seguenti:

**Caso 1**

Se per almeno due facce dell'edificio l'area totale delle aperture presenti su ciascuna faccia supera il 30% della superficie totale della faccia stessa si applicano le prescrizioni riportate nel § C3.3.8.2 (tettoie).

**Caso 2**

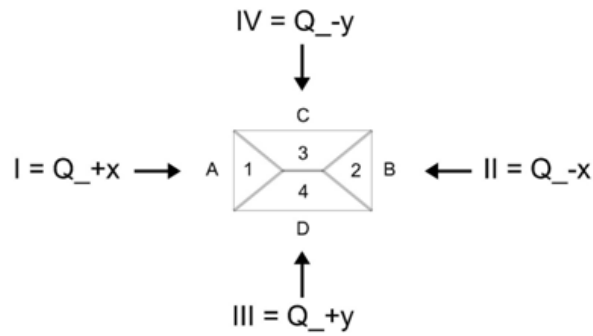
Se l'edificio non rientra nel caso precedente, ma presenta una superficie dotata di un'area totale di aperture pari ad almeno il doppio della somma delle aree delle aperture presenti sulle rimanenti superfici, il coefficiente di pressione interna c<sub>pi</sub> è pari a 0,75·c<sub>pe</sub>; se invece l'area delle aperture presenti su detta superficie è pari ad almeno il triplo dell'area delle aperture presenti sulle rimanenti superfici, il coefficiente di pressione interna c<sub>pi</sub> è pari a 0,90·c<sub>pe</sub>.

L'altezza di riferimento z<sub>i</sub> è pari all'altezza di riferimento z<sub>e</sub> relativa alla superficie dominante.

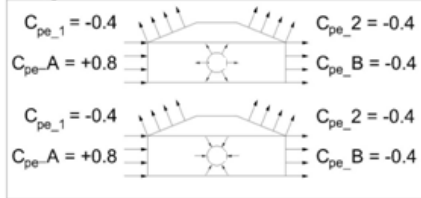
**Caso 3**

Se l'edificio non rientra in nessuno dei casi precedenti, ma è dotato di porosità distribuita in maniera circa uniforme, in assenza di determinazioni più dettagliate, per le quali si farà riferimento a documenti di comprovata validità, si possono assumere i valori c<sub>pi</sub> = +0,2 e c<sub>pe</sub> = -0,3, considerando il caso che di volta in volta conduce alla situazione maggiormente gravosa.

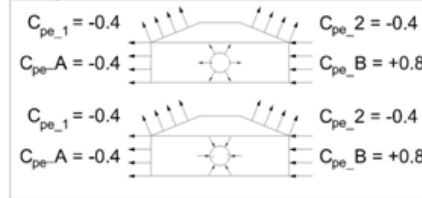
Per considerare le condizioni più gravose indotte dal carico vento sui diversi elementi strutturali, si fa riferimento alle configurazioni riportate nella figura seguente, che considerano 4 scenari a seconda che il vento spiri in direzione ±X o ±Y e per ciascuno di essi valutano le differenti combinazioni possibili di Coefficiente di Forma interno e esterno su ogni facciata lambita.



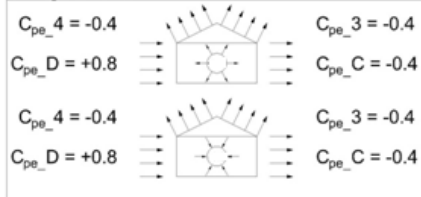
Configurazione I



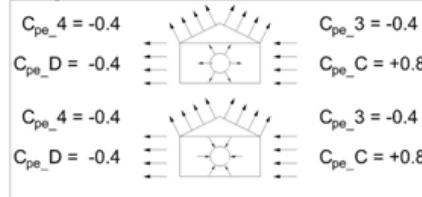
Configurazione II




Configurazione III



Configurazione IV



L'azione in copertura viene considerata come di seguito specificato.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

## 8.6 Azione del Vento in copertura

I valori dei coefficienti di forza sono valutati secondo C3.3.8.1.2 “Coperure piane”:

### C3.3.8.1.2 Coperture piane

Si considerano piane le coperture la cui inclinazione sull'orizzontale sia compresa tra  $-5^\circ$  e  $+5^\circ$ . L'altezza di riferimento  $z_e$  per le coperture piane è pari alla quota massima della copertura stessa, inclusa la presenza dei parapetti e di altri analoghi elementi. I coefficienti globali  $c_{pe}$  da assumere sulle coperture di un edificio a pianta rettangolare sono riportati in Figura C3.3.5 e in Tabella C3.3.III.

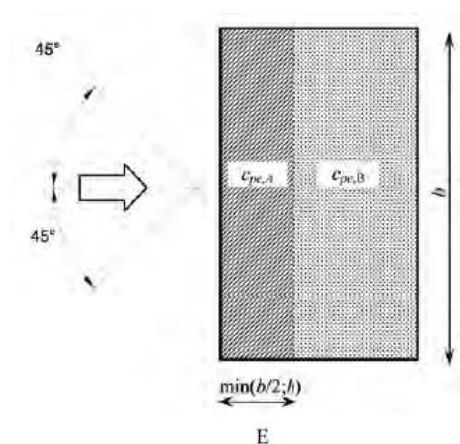



Figura C3.3.5 - Schema di riferimento per coperture piane

Tabella C3.3.III - Edifici rettangolari:  $c_{pe}$  per coperture piane.

Fascia sopravvento di profondità pari al minimo tra $b/2$ e $h$ :	$c_{pe,A} = -0,80$
Restanti zone	$c_{pe,B} = \pm 0,20$

L'azione verticale di sollevamento ( $C_p < 0$ ) risulta favorevole pertanto viene trascurata. Si utilizzerà solo il  $C_{pB} = +0.2$  con pressione rivolta verso il basso.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b></p> <p><b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>FA0100 004</td> <td>A</td> <td>32 DI 109</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	32 DI 109
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	32 DI 109								

### 8.7 Azione Termica

Secondo quanto riportato dalle NTC 2018 al § 3.5.5, nel caso in cui la temperatura non costituisca azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura, è consentito tener conto, per gli edifici, della sola componente uniforme di variazione termica  $\Delta T_u$ , esprimibile come segue:

$$\Delta T_u = T - T_0$$


in cui:

T = Temperatura media attuale

$T_0$  = Temperatura iniziale alla data della costruzione  $T_0$ .

Il valore di  $\Delta T_u$  può essere ricavato dalla Tabella 3.5.II della stessa norma e per costruzioni in acciaio può essere assunto pari a  $\pm 25^\circ\text{C}$ .



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

## 8.8 Azione Sismica

### 8.8.1 Struttura in elevazione

Nell'analisi dinamica lineare di un edificio soggetto a sisma l'azione sismica è rappresentata dallo spettro di risposta di progetto. La definizione di quest'ultimo avviene direttamente all'interno del software SAP2000, il quale fornisce gli spettri di risposta di riferimento per la verifica allo SLO, SLD e SLV, determinati conformemente a quanto prescritto dalla norma.

Per fornire gli spettri richiesti, il software richiede l'inserimento di alcuni parametri caratteristici della struttura in esame e del sito in cui si trova. In particolare, oltre alle coordinate geografiche, il programma richiede di specificare la Vita Nominale  $V_N$  dell'edificio e il suo Coefficiente d'Uso  $C_U$ , al fine di poter calcolare il periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_R = V_N * C_U$

Per la definizione della **Vita Nominale** da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di un'infrastruttura ferroviaria si rimanda alla Tabella 2.5.1.1.1-1 *Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie* contenuta nel "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE 2 SEZIONE II – Ponti e Strutture" (RFI DTC SI PS MA IFS 001 C) e di seguito riportata.


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 VELOCITÀ CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V < 250$ Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V \geq 250$ 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 FERROVIE.	

Tab. 2.5.1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

Figura 8.1 – RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Tabella 2.5.1.1.1-1 Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie

L'oggetto della presente relazione rientra nell'ambito di "opere nuove su infrastrutture ferroviarie progettate con le norme vigenti prima del DM 14/01/2008 a velocità convenzionale ( $V < 250$  km/h)", dunque le strutture di progetto avranno vita nominale  $V_N = 50$  anni.

Il valore del Coefficiente d'Uso  $C_U$  varia in relazione alla **Classe d'Uso** dell'edificio, come riportato nella Tabella 2.4.II delle NTC 2018 (Figura 8.2). Le NTC 2018 prevedono quattro diverse Classi d'Uso; per la

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

struttura in esame si fa riferimento alla *Classe III*, alla quale corrisponde un Coefficiente d'Uso  $C_U$  pari a 1,5.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Figura 8.2 – NTC 2018, Coefficiente d'Uso degli edifici

È inoltre necessario precisare la **Categoria di Sottosuolo** e la **Categoria Topografica** cui appartiene il sito in esame; queste informazioni sono reperibili dalla relazione geotecnica, che prescrive l'assunzione di una Categoria di Sottosuolo C e una Categoria Topografica  $T_1$ .

Per la determinazione dello spettro di risposta di progetto è anche necessario precisare il valore adottato per il **Fattore di Comportamento q** nell'ambito di ciascuno stato limite considerato. Secondo quanto riportato al § 7.3 delle NTC 2018, nel caso di analisi lineare, infatti, la domanda sismica per le strutture può essere ridotta utilizzando un opportuno fattore di comportamento q, che tiene implicitamente conto della capacità dissipativa delle stesse. I valori attribuibili a q variano in funzione del comportamento strutturale (dissipativo o non dissipativo) e dello stato limite considerati, legandosi all'entità delle plasticizzazioni, che a ciascuno stato limite si accompagnano.

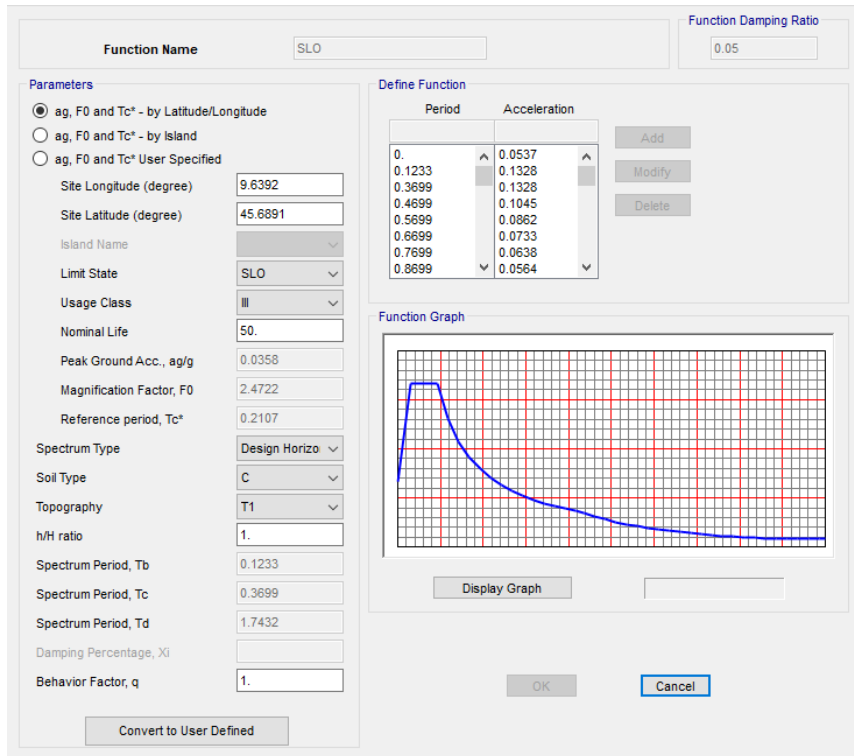
Le NTC 2018 forniscono i seguenti valori massimi per il valore di q da assumere per ogni stato limite, in funzione del comportamento strutturale assunto.

Tab. 7.3.I – Limiti su q e modalità di modellazione dell'azione sismica

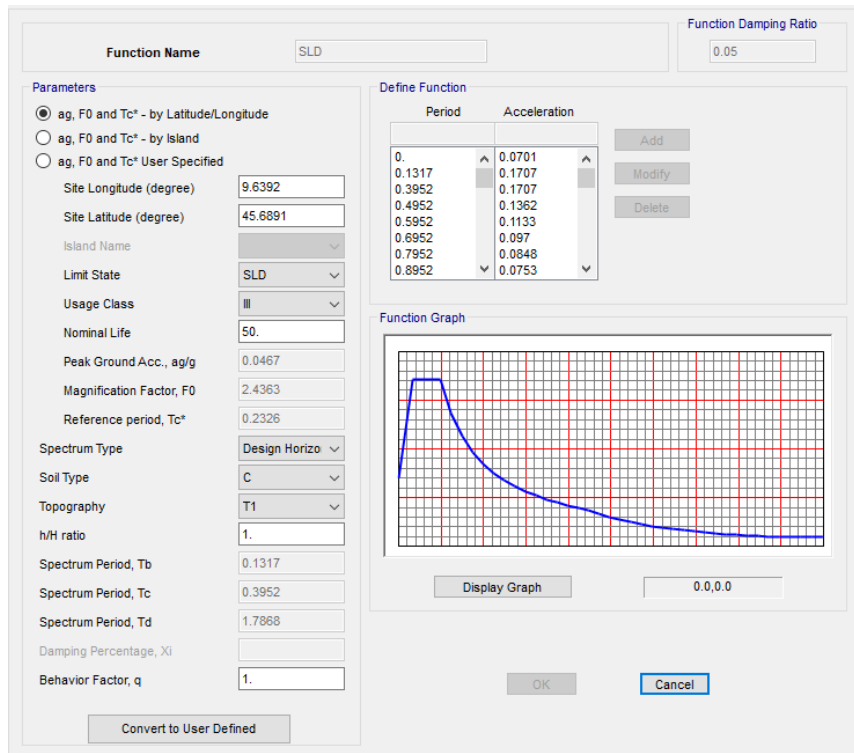
STATI LIMITE		Lineare (Dinamica e Statica)		Non Lineare	
		Dissipativo	Non Dissipativo	Dinamica	Statica
SLE	SLO	q = 1,0 § 3.2.3.4	q = 1,0 § 3.2.3.4	§ 7.3.4.1	§ 7.3.4.2
	SLD	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5		
SLU	SLV	q ≥ 1,5 § 3.2.3.5	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5		
	SLC	---	---		

Figura 8.3 - NTC 2018, valori limite per il fattore di comportamento q

Assumendo che la struttura sia Non Dissipativa, si ha  $q = 1,0$ .



**Figura 8.4 - Spettro di Risposta definito all'interno di SAP2000 allo SLO**



**Figura 8.5 – Spettro di Risposta definito all'interno di SAP2000 allo SLD**

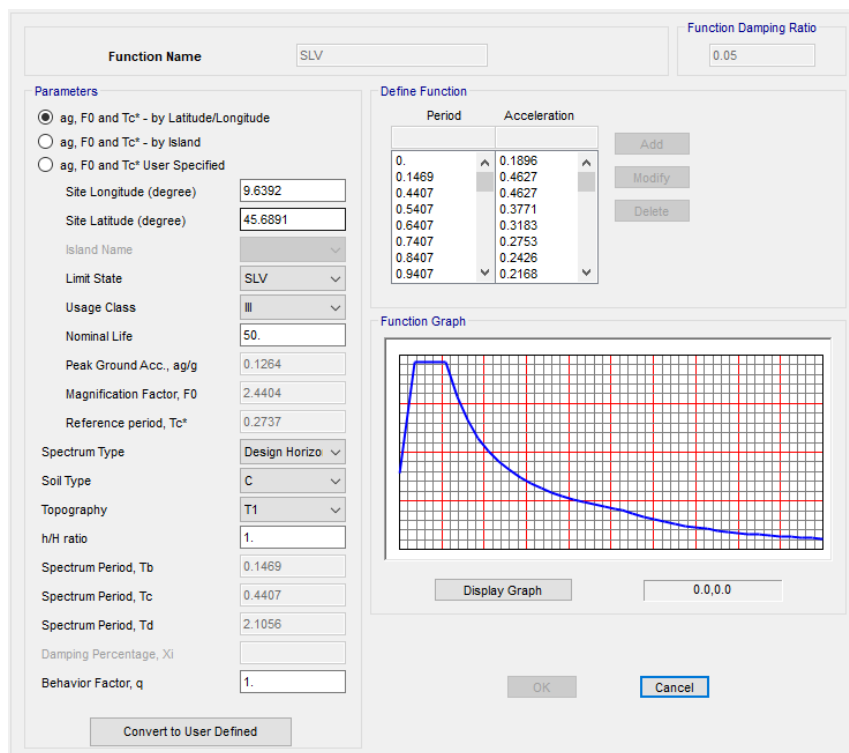



Figura 8.6 - Spettro di Risposta definito all'interno di SAP2000 allo SLV

Per eseguire un'analisi con spettro di risposta su SAP2000, una volta definite le funzioni spettro, è necessario creare un nuovo Load Case di tipo Response Spectrum, impostando come modal combination l'opzione CQC, inserendo nei carichi applicati la funzione Spettro allo SLV appena creata e impostando come tipo di carico l'accelerazione U1 con fattore di scala 9,81, poiché i valori di accelerazione riportati nello spettro sono normalizzati rispetto all'accelerazione di gravità g. Secondo quanto richiesto dalle NTC 2018, è necessario introdurre all'interno del modello le eccentricità delle azioni; infatti, al § 7.2.6 la normativa prescrive la necessità di attribuire al centro di massa una eccentricità accidentale, per tener conto della variabilità spaziale del moto sismico nonché delle incertezze nella localizzazione delle masse. Questa operazione è fatta direttamente in questa fase, assegnando all'opzione "Eccentricity Ratio" il valore 0,05. Il caso di carico così creato rappresenta il sisma agente in direzione x allo SLV. Si prosegue in modo analogo creando in tutto 6 differenti Load Cases: SLO\_Ex, SLO\_Ey, SLD\_Ex, SLD\_Ey, SLV\_Ex, SLV\_Ey, che verranno combinati con le altre azioni verticali, secondo quanto prescritto dalla combinazione sismica definita dalla normativa e descritta al prossimo paragrafo.

### 8.8.2 Struttura completa (elevazione+fondazione)

Per la struttura di fondazione si è applicata una Analisi Lineare Statica (cap. 7.3.3.2 NTC). Per una corretta correlazione con il modello di partenza, l'azione sismica è stata valutata a partire dai periodi propri di vibrazione, T1x e T1y, calcolati nel §7 Analisi Modale.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA</b> <b>CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</b> <b>FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

## 9 COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche nei confronti dei diversi stati limite si adottano le combinazioni delle azioni tratte dal § 2.5.3 NTC 2018:

- Combinazione fondamentale SLU:  
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3}..$
- Combinazione caratteristica (rara):  
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione frequente:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione quasi permanente:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione sismica:  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$


I valori dei coefficienti parziali per le azioni sono riportati nella tabella sottostante, tratti dalla Tabella 2.5.I in funzione delle diverse categorie di carico.

	$Q_H$	$Q_{Neve}$	$Q_{Vento}$
$\Psi_0$	0,00	0,50	0,60
$\Psi_1$	0,00	0,20	0,20
$\Psi_2$	0,00	0,00	0,00

Per le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) si adotta l'Approccio Progettuale 2, in cui si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I delle NTC 2018, di seguito riportata.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali relativi alle azioni per le verifiche agli SLU

Azione		Coefficiente $\gamma_F$	A1 STR	A2 GEO
Carichi Permanenti	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,30	1,00
Carichi Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,30
Carichi Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,30

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

In base ai valori assunti dai coefficienti sopra definiti, si ottengono le seguenti combinazioni, per ciascuno degli Stati Limite Considerati.

TABELLA CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO - ELEVAZIONE

Load	Descrizione
G1	Carichi permanenti
G2	Carichi permanenti non strutturali
QH1	Variabile manutenzione
N	Variabile neve
T	Variazione termica
Vx	Vento dir.x+
Vy	Vento dir.y+
Vx-	Vento dir.x-
Vy-	Vento dir.y-
RS_SLV-X	Analisi dinamica lineare dir.x
RS_SLV-Y	Analisi dinamica lineare dir.y

TABELLA CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO - FONDAZIONE

Load	Descrizione
G1	Carichi permanenti
G2	Carichi permanenti non strutturali
QH1	Variabile manutenzione
N	Variabile neve
T	Variazione termica
Vx	Vento dir.x+
Vy	Vento dir.y+
Vx-	Vento dir.x-
Vy-	Vento dir.y-
Sisma X e+	Sisma x eccentricità positiva
Sisma X e-	Sisma x eccentricità negativa
Sisma Y e+	Sisma y eccentricità positiva
Sisma Y e-	Sisma y eccentricità negativa



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	39 DI 109

TABELLA COMBINAZIONI DI CARICO SLU – ELEVAZIONE E FONDAZIONE

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
SLU_Q1	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q1		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q1		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q1		Linear Static	T	0.9
SLU_Q1		Linear Static	Vx	0.9
SLU_Q1		Linear Static	N	0.75
SLU_Q2	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q2		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q2		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q2		Linear Static	T	-0.9
SLU_Q2		Linear Static	Vx	0.9
SLU_Q2		Linear Static	N	0.75
SLU_Q3	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q3		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q3		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q3		Linear Static	T	0.9
SLU_Q3		Linear Static	Vx-	0.9
SLU_Q3		Linear Static	N	0.75
SLU_Q4	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q4		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q4		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q4		Linear Static	T	-0.9
SLU_Q4		Linear Static	Vx-	0.9
SLU_Q4		Linear Static	N	0.75
SLU_Q5	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q5		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q5		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q5		Linear Static	T	0.9
SLU_Q5		Linear Static	Vy	0.9
SLU_Q5		Linear Static	N	0.75
SLU_Q6	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q6		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q6		Linear Static	QH1	1.5



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	40 DI 109

SLU_Q6		Linear Static	T	-0.9
SLU_Q6		Linear Static	Vy	0.9
SLU_Q6		Linear Static	N	0.75
SLU_Q7	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q7		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q7		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q7		Linear Static	T	0.9
SLU_Q7		Linear Static	Vy-	0.9
SLU_Q7		Linear Static	N	0.75
SLU_Q8	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Q8		Linear Static	G2	1.5
SLU_Q8		Linear Static	QH1	1.5
SLU_Q8		Linear Static	T	-0.9
SLU_Q8		Linear Static	Vy-	0.9
SLU_Q8		Linear Static	N	0.75
SLU_Vx1+	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vx1+		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vx1+		Linear Static	N	0.75
SLU_Vx1+		Linear Static	T	0.9
SLU_Vx1+		Linear Static	Vx	1.5
SLU_Vx1-	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vx1-		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vx1-		Linear Static	N	0.75
SLU_Vx1-		Linear Static	T	0.9
SLU_Vx1-		Linear Static	Vx-	1.5
SLU_Vx2+	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vx2+		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vx2+		Linear Static	N	0.75
SLU_Vx2+		Linear Static	T	-0.9
SLU_Vx2+		Linear Static	Vx	1.5
SLU_Vx2-	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vx2-		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vx2-		Linear Static	N	0.75
SLU_Vx2-		Linear Static	T	-0.9
SLU_Vx2-		Linear Static	Vx-	1.5
SLU_Vy1+	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vy1+		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vy1+		Linear Static	N	0.75
SLU_Vy1+		Linear Static	T	0.9





**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	41 DI 109

SLU_Vy1+		Linear Static	Vy	1.5
SLU_Vy1-	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vy1-		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vy1-		Linear Static	N	0.75
SLU_Vy1-		Linear Static	T	0.9
SLU_Vy1-		Linear Static	Vy-	1.5
SLU_Vy2+	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vy2+		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vy2+		Linear Static	N	0.75
SLU_Vy2+		Linear Static	T	-0.9
SLU_Vy2+		Linear Static	Vy	1.5
SLU_Vy2-	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_Vy2-		Linear Static	G2	1.5
SLU_Vy2-		Linear Static	N	0.75
SLU_Vy2-		Linear Static	T	-0.9
SLU_Vy2-		Linear Static	Vy-	1.5
SLU_N1	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N1		Linear Static	G2	1.5
SLU_N1		Linear Static	QH1	0
SLU_N1		Linear Static	T	0.9
SLU_N1		Linear Static	Vx	0.9
SLU_N1		Linear Static	N	1.5
SLU_N2	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N2		Linear Static	G2	1.5
SLU_N2		Linear Static	QH1	0
SLU_N2		Linear Static	T	-0.9
SLU_N2		Linear Static	Vx	0.9
SLU_N2		Linear Static	N	1.5
SLU_N3	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N3		Linear Static	G2	1.5
SLU_N3		Linear Static	QH1	0
SLU_N3		Linear Static	T	0.9
SLU_N3		Linear Static	Vx-	0.9
SLU_N3		Linear Static	N	1.5
SLU_N4	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N4		Linear Static	G2	1.5
SLU_N4		Linear Static	QH1	0
SLU_N4		Linear Static	T	-0.9
SLU_N4		Linear Static	Vx-	0.9



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	42 DI 109

SLU_N4		Linear Static	N	1.5
SLU_N5	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N5		Linear Static	G2	1.5
SLU_N5		Linear Static	QH1	0
SLU_N5		Linear Static	T	0.9
SLU_N5		Linear Static	Vy	0.9
SLU_N5		Linear Static	N	1.5
SLU_N6	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N6		Linear Static	G2	1.5
SLU_N6		Linear Static	QH1	0
SLU_N6		Linear Static	T	-0.9
SLU_N6		Linear Static	Vy	0.9
SLU_N6		Linear Static	N	1.5
SLU_N7	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N7		Linear Static	G2	1.5
SLU_N7		Linear Static	QH1	0
SLU_N7		Linear Static	T	0.9
SLU_N7		Linear Static	Vy-	0.9
SLU_N7		Linear Static	N	1.5
SLU_N8	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_N8		Linear Static	G2	1.5
SLU_N8		Linear Static	QH1	0
SLU_N8		Linear Static	T	-0.9
SLU_N8		Linear Static	Vy-	0.9
SLU_N8		Linear Static	N	1.5
SLU_T1	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T1		Linear Static	G2	1.5
SLU_T1		Linear Static	QH1	0
SLU_T1		Linear Static	T	1.5
SLU_T1		Linear Static	Vx	0.9
SLU_T1		Linear Static	N	0.75
SLU_T2	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T2		Linear Static	G2	1.5
SLU_T2		Linear Static	QH1	0
SLU_T2		Linear Static	T	-1.5
SLU_T2		Linear Static	Vx	0.9
SLU_T2		Linear Static	N	0.75
SLU_T3	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T3		Linear Static	G2	1.5



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	43 DI 109

SLU_T3		Linear Static	QH1	0
SLU_T3		Linear Static	T	1.5
SLU_T3		Linear Static	Vx-	0.9
SLU_T3		Linear Static	N	0.75
SLU_T4	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T4		Linear Static	G2	1.5
SLU_T4		Linear Static	QH1	0
SLU_T4		Linear Static	T	-1.5
SLU_T4		Linear Static	Vx-	0.9
SLU_T4		Linear Static	N	0.75
SLU_T5	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T5		Linear Static	G2	1.5
SLU_T5		Linear Static	QH1	0
SLU_T5		Linear Static	T	1.5
SLU_T5		Linear Static	Vy	0.9
SLU_T5		Linear Static	N	0.75
SLU_T6	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T6		Linear Static	G2	1.5
SLU_T6		Linear Static	QH1	0
SLU_T6		Linear Static	T	-1.5
SLU_T6		Linear Static	Vy	0.9
SLU_T6		Linear Static	N	0.75
SLU_T7	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T7		Linear Static	G2	1.5
SLU_T7		Linear Static	QH1	0
SLU_T7		Linear Static	T	1.5
SLU_T7		Linear Static	Vy-	0.9
SLU_T7		Linear Static	N	0.75
SLU_T8	Linear Add	Linear Static	G1	1.3
SLU_T8		Linear Static	G2	1.5
SLU_T8		Linear Static	QH1	0
SLU_T8		Linear Static	T	-1.5
SLU_T8		Linear Static	Vy-	0.9
SLU_T8		Linear Static	N	0.75

TABELLA COMBINAZIONI DI CARICO SLV – ELEVAZIONE

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	44 DI 109

Text	Text	Text	Text	Unitless
SLV_X	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLV_X		Linear Static	G2	1
SLV_X		Response Spectrum	RS_SLV-X	1
SLV_X		Response Spectrum	RS_SLV-Y	0.3
SLV_Y	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLV_Y		Linear Static	G2	1
SLV_Y		Response Spectrum	RS_SLV-X	0.3
SLV_Y		Response Spectrum	RS_SLV-Y	1

TABELLA COMBINAZIONI DI CARICO SLV – FONDAZIONE

<b>TABLE: Combination Definitions</b>				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
Stat_lin_X1	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X1		Linear Static	Sisma X e+	1
Stat_lin_X1		Linear Static	Sisma Y e+	0.3
Stat_lin_X2	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X2		Linear Static	Sisma X e+	1
Stat_lin_X2		Linear Static	Sisma Y e-	0.3
Stat_lin_X3	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X3		Linear Static	Sisma X e-	1
Stat_lin_X3		Linear Static	Sisma Y e-	0.3
Stat_lin_X4	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X4		Linear Static	Sisma X e-	1
Stat_lin_X4		Linear Static	Sisma Y e+	0.3
Stat_lin_X5	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X5		Linear Static	Sisma X e+	-1
Stat_lin_X5		Linear Static	Sisma Y e+	0.3
Stat_lin_X6	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X6		Linear Static	Sisma X e+	-1
Stat_lin_X6		Linear Static	Sisma Y e-	0.3
Stat_lin_X7	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X7		Linear Static	Sisma X e-	-1
Stat_lin_X7		Linear Static	Sisma Y e-	0.3
Stat_lin_X8	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X8		Linear Static	Sisma X e-	-1



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	45 DI 109

Stat_lin_X8		Linear Static	Sisma Y e+	0.3
Stat_lin_X9	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X9		Linear Static	Sisma X e+	-1
Stat_lin_X9		Linear Static	Sisma Y e+	-0.3
Stat_lin_X10	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X10		Linear Static	Sisma X e+	-1
Stat_lin_X10		Linear Static	Sisma Y e-	-0.3
Stat_lin_X11	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X11		Linear Static	Sisma X e-	-1
Stat_lin_X11		Linear Static	Sisma Y e-	-0.3
Stat_lin_X12	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X12		Linear Static	Sisma X e-	-1
Stat_lin_X12		Linear Static	Sisma Y e+	-0.3
Stat_lin_X13	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X13		Linear Static	Sisma X e+	1
Stat_lin_X13		Linear Static	Sisma Y e+	-0.3
Stat_lin_X14	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X14		Linear Static	Sisma X e+	1
Stat_lin_X14		Linear Static	Sisma Y e-	-0.3
Stat_lin_X15	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X15		Linear Static	Sisma X e-	1
Stat_lin_X15		Linear Static	Sisma Y e-	-0.3
Stat_lin_X16	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_X16		Linear Static	Sisma X e-	1
Stat_lin_X16		Linear Static	Sisma Y e+	-0.3
Stat_lin_Y1	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y1		Linear Static	Sisma Y e+	1
Stat_lin_Y1		Linear Static	Sisma X e+	0.3
Stat_lin_Y2	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y2		Linear Static	Sisma Y e-	1
Stat_lin_Y2		Linear Static	Sisma X e+	0.3
Stat_lin_Y3	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y3		Linear Static	Sisma Y e-	1
Stat_lin_Y3		Linear Static	Sisma X e-	0.3
Stat_lin_Y4	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y4		Linear Static	Sisma Y e+	1
Stat_lin_Y4		Linear Static	Sisma X e-	0.3
Stat_lin_Y5	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y5		Linear Static	Sisma Y e+	-1



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	46 DI 109

Stat_lin_Y5		Linear Static	Sisma X e+	0.3
Stat_lin_Y6	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y6		Linear Static	Sisma Y e-	-1
Stat_lin_Y6		Linear Static	Sisma X e+	0.3
Stat_lin_Y7	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y7		Linear Static	Sisma Y e-	-1
Stat_lin_Y7		Linear Static	Sisma X e-	0.3
Stat_lin_Y8	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y8		Linear Static	Sisma Y e+	-1
Stat_lin_Y8		Linear Static	Sisma X e-	0.3
Stat_lin_Y9	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y9		Linear Static	Sisma Y e+	-1
Stat_lin_Y9		Linear Static	Sisma X e+	-0.3
Stat_lin_Y10	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y10		Linear Static	Sisma Y e-	-1
Stat_lin_Y10		Linear Static	Sisma X e+	-0.3
Stat_lin_Y11	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y11		Linear Static	Sisma Y e-	-1
Stat_lin_Y11		Linear Static	Sisma X e-	-0.3
Stat_lin_Y12	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y12		Linear Static	Sisma Y e+	-1
Stat_lin_Y12		Linear Static	Sisma X e-	-0.3
Stat_lin_Y13	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y13		Linear Static	Sisma Y e+	1
Stat_lin_Y13		Linear Static	Sisma X e+	-0.3
Stat_lin_Y14	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y14		Linear Static	Sisma Y e-	1
Stat_lin_Y14		Linear Static	Sisma X e+	-0.3
Stat_lin_Y15	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y15		Linear Static	Sisma Y e-	1
Stat_lin_Y15		Linear Static	Sisma X e-	-0.3
Stat_lin_Y16	Linear Add	Linear Static	V_sisma	1
Stat_lin_Y16		Linear Static	Sisma Y e+	1
Stat_lin_Y16		Linear Static	Sisma X e-	-0.3

In cui "V\_sisma" = G1+G2



**PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	47 DI 109

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
SLER_Q1	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q1		Linear Static	G2	1
SLER_Q1		Linear Static	QH1	1
SLER_Q1		Linear Static	T	0.6
SLER_Q1		Linear Static	N	0.5
SLER_Q1		Linear Static	Vx	0.6
SLER_Q1		Linear Static	N	0.5
SLER_Q2	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q2		Linear Static	G2	1
SLER_Q2		Linear Static	QH1	1
SLER_Q2		Linear Static	T	-0.6
SLER_Q2		Linear Static	N	0.5
SLER_Q2		Linear Static	Vx	0.6
SLER_Q2		Linear Static	N	0.5
SLER_Q3	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q3		Linear Static	G2	1
SLER_Q3		Linear Static	QH1	1
SLER_Q3		Linear Static	T	0.6
SLER_Q3		Linear Static	N	0.5
SLER_Q3		Linear Static	Vx-	0.6
SLER_Q3		Linear Static	N	0.5
SLER_Q4	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q4		Linear Static	G2	1
SLER_Q4		Linear Static	QH1	1
SLER_Q4		Linear Static	T	-0.6
SLER_Q4		Linear Static	N	0.5
SLER_Q4		Linear Static	Vx-	0.6
SLER_Q4		Linear Static	N	0.5
SLER_Q5	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q5		Linear Static	G2	1
SLER_Q5		Linear Static	QH1	1
SLER_Q5		Linear Static	T	0.6
SLER_Q5		Linear Static	N	0.5
SLER_Q5		Linear Static	Vy	0.6
SLER_Q5		Linear Static	N	0.5
SLER_Q6	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q6		Linear Static	G2	1



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	48 DI 109

SLER_Q6		Linear Static	QH1	1
SLER_Q6		Linear Static	T	-0.6
SLER_Q6		Linear Static	N	0.5
SLER_Q6		Linear Static	Vy	0.6
SLER_Q6		Linear Static	N	0.5
SLER_Q7	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q7		Linear Static	G2	1
SLER_Q7		Linear Static	QH1	1
SLER_Q7		Linear Static	T	0.6
SLER_Q7		Linear Static	N	0.5
SLER_Q7		Linear Static	Vy-	0.6
SLER_Q7		Linear Static	N	0.5
SLER_Q8	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Q8		Linear Static	G2	1
SLER_Q8		Linear Static	QH1	1
SLER_Q8		Linear Static	T	-0.6
SLER_Q8		Linear Static	N	0.5
SLER_Q8		Linear Static	Vy-	0.6
SLER_Q8		Linear Static	N	0.5
SLER_Vx+_T-	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vx+_T-		Linear Static	G2	1
SLER_Vx+_T-		Linear Static	Vx	1
SLER_Vx+_T-		Linear Static	N	0.5
SLER_Vx+_T-		Linear Static	T	-0.6
SLER_Vy+	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vy+		Linear Static	G2	1
SLER_Vy+		Linear Static	Vy	1
SLER_Vy+		Linear Static	N	0.5
SLER_Vy+		Linear Static	T	0.6
SLER_Vx-	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vx-		Linear Static	G2	1
SLER_Vx-		Linear Static	Vx-	1
SLER_Vx-		Linear Static	N	0.5
SLER_Vx-		Linear Static	T	0.6
SLER_Vy-	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vy-		Linear Static	G2	1
SLER_Vy-		Linear Static	Vy-	1
SLER_Vy-		Linear Static	N	0.5
SLER_Vy-		Linear Static	T	0.6





**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	49 DI 109

SLER_Vx+	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vx+		Linear Static	G2	1
SLER_Vx+		Linear Static	Vx	1
SLER_Vx+		Linear Static	N	0.5
SLER_Vx+		Linear Static	T	0.6
SLER_Vx-_T-	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vx-_T-		Linear Static	G2	1
SLER_Vx-_T-		Linear Static	Vx-	1
SLER_Vx-_T-		Linear Static	N	0.5
SLER_Vx-_T-		Linear Static	T	-0.6
SLER_Vy+_T-	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vy+_T-		Linear Static	G2	1
SLER_Vy+_T-		Linear Static	Vy	1
SLER_Vy+_T-		Linear Static	N	0.5
SLER_Vy+_T-		Linear Static	T	-0.6
SLER_Vy-_T-	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_Vy-_T-		Linear Static	G2	1
SLER_Vy-_T-		Linear Static	Vy-	1
SLER_Vy-_T-		Linear Static	N	0.5
SLER_Vy-_T-		Linear Static	T	-0.6
SLER_N1	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N1		Linear Static	G2	1
SLER_N1		Linear Static	QH1	0
SLER_N1		Linear Static	T	0.6
SLER_N1		Linear Static	N	0.5
SLER_N1		Linear Static	Vx	0.6
SLER_N1		Linear Static	N	1
SLER_N2	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N2		Linear Static	G2	1
SLER_N2		Linear Static	QH1	0
SLER_N2		Linear Static	T	-0.6
SLER_N2		Linear Static	N	0.5
SLER_N2		Linear Static	Vx	0.6
SLER_N2		Linear Static	N	1
SLER_N3	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N3		Linear Static	G2	1
SLER_N3		Linear Static	QH1	0
SLER_N3		Linear Static	T	0.6
SLER_N3		Linear Static	N	0.5



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	50 DI 109

SLER_N3		Linear Static	Vx-	0.6
SLER_N3		Linear Static	N	1
SLER_N4	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N4		Linear Static	G2	1
SLER_N4		Linear Static	QH1	0
SLER_N4		Linear Static	T	-0.6
SLER_N4		Linear Static	N	0.5
SLER_N4		Linear Static	Vx-	0.6
SLER_N4		Linear Static	N	1
SLER_N5	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N5		Linear Static	G2	1
SLER_N5		Linear Static	QH1	0
SLER_N5		Linear Static	T	0.6
SLER_N5		Linear Static	N	0.5
SLER_N5		Linear Static	Vy	0.6
SLER_N5		Linear Static	N	1
SLER_N6	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N6		Linear Static	G2	1
SLER_N6		Linear Static	QH1	0
SLER_N6		Linear Static	T	-0.6
SLER_N6		Linear Static	N	0.5
SLER_N6		Linear Static	Vy	0.6
SLER_N6		Linear Static	N	1
SLER_N7	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N7		Linear Static	G2	1
SLER_N7		Linear Static	QH1	0
SLER_N7		Linear Static	T	0.6
SLER_N7		Linear Static	N	0.5
SLER_N7		Linear Static	Vy-	0.6
SLER_N7		Linear Static	N	1
SLER_N8	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_N8		Linear Static	G2	1
SLER_N8		Linear Static	QH1	0
SLER_N8		Linear Static	T	-0.6
SLER_N8		Linear Static	N	0.5
SLER_N8		Linear Static	Vy-	0.6
SLER_N8		Linear Static	N	1
SLER_T1	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T1		Linear Static	G2	1



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	51 DI 109

SLER_T1		Linear Static	QH1	0
SLER_T1		Linear Static	T	1
SLER_T1		Linear Static	N	0.5
SLER_T1		Linear Static	Vx	0.6
SLER_T1		Linear Static	N	0.5
SLER_T2	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T2		Linear Static	G2	1
SLER_T2		Linear Static	QH1	0
SLER_T2		Linear Static	T	-1
SLER_T2		Linear Static	N	0.5
SLER_T2		Linear Static	Vx	0.6
SLER_T2		Linear Static	N	0.5
SLER_T3	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T3		Linear Static	G2	1
SLER_T3		Linear Static	QH1	0
SLER_T3		Linear Static	T	1
SLER_T3		Linear Static	N	0.5
SLER_T3		Linear Static	Vx-	0.6
SLER_T3		Linear Static	N	0.5
SLER_T4	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T4		Linear Static	G2	1
SLER_T4		Linear Static	QH1	0
SLER_T4		Linear Static	T	-1
SLER_T4		Linear Static	N	0.5
SLER_T4		Linear Static	Vx-	0.6
SLER_T4		Linear Static	N	0.5
SLER_T5	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T5		Linear Static	G2	1
SLER_T5		Linear Static	QH1	0
SLER_T5		Linear Static	T	1
SLER_T5		Linear Static	N	0.5
SLER_T5		Linear Static	Vy	0.6
SLER_T5		Linear Static	N	0.5
SLER_T6	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T6		Linear Static	G2	1
SLER_T6		Linear Static	QH1	0
SLER_T6		Linear Static	T	-1
SLER_T6		Linear Static	N	0.5
SLER_T6		Linear Static	Vy	0.6



**PROGETTO DEFINITIVO**


**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	52 DI 109

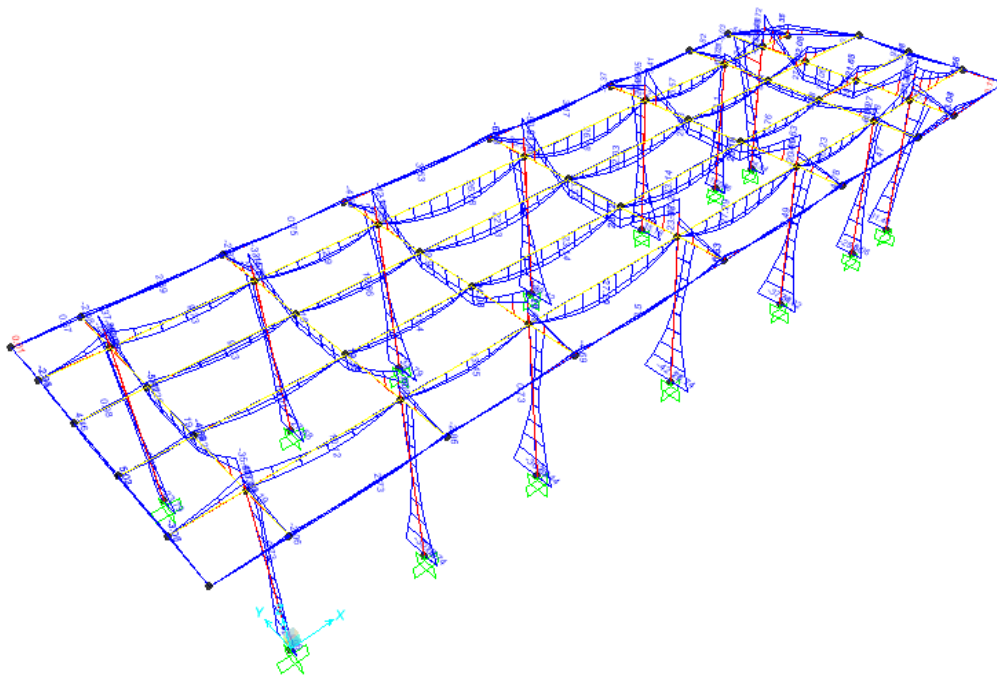
SLER_T6		Linear Static	N	0.5
SLER_T7	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T7		Linear Static	G2	1
SLER_T7		Linear Static	QH1	0
SLER_T7		Linear Static	T	1
SLER_T7		Linear Static	N	0.5
SLER_T7		Linear Static	Vy-	0.6
SLER_T7		Linear Static	N	0.5
SLER_T8	Linear Add	Linear Static	G1	1
SLER_T8		Linear Static	G2	1
SLER_T8		Linear Static	QH1	0
SLER_T8		Linear Static	T	-1
SLER_T8		Linear Static	N	0.5
SLER_T8		Linear Static	Vy-	0.6
SLER_T8		Linear Static	N	0.5

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A	FOGLIO 53 DI 109

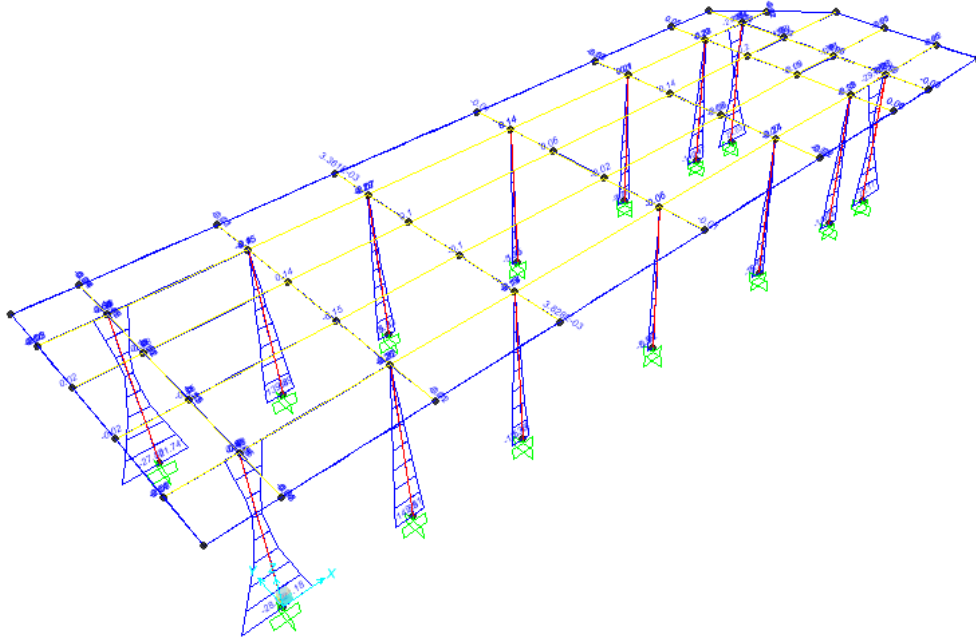
## 10 SOLLECITAZIONI

Secondo quanto riportato dalle NTC 2018 al § 7.3.6, per le costruzioni di Classe III, se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione ( $E_d$ ) calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo *SLD*, sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto ( $R_d$ ), calcolato secondo le regole specifiche indicate per ciascun tipo strutturale nel Cap. 4.

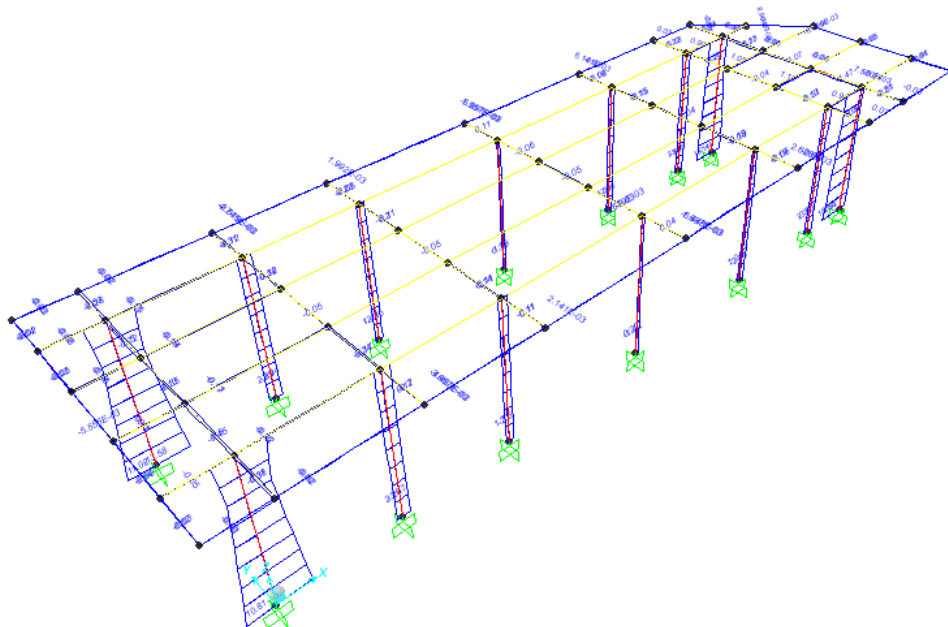
Dal momento che l'azione sismica allo Stato Limite di Danno è di entità inferiore rispetto a quella considerata per le verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, gli elementi strutturali risulteranno certamente verificati all'*SLD* una volta condotte le verifiche all'*SLV*. Pertanto, si omette di riportare i valori delle sollecitazioni nei diversi elementi strutturali corrispondenti a tale combinazione di carico.



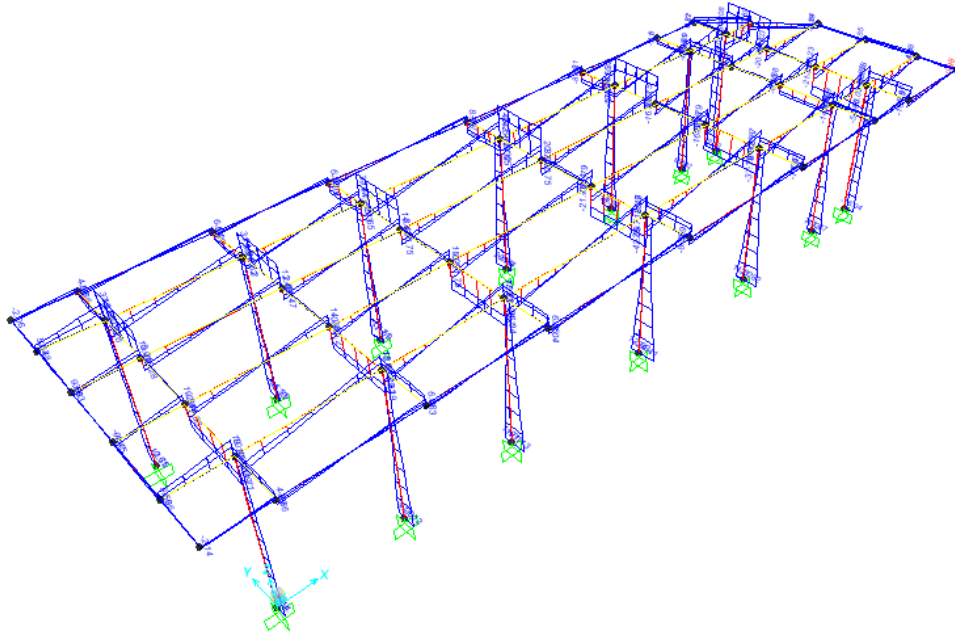
**Figura 10.1** - Combinazione SLU – Valori di Momento Flettente M33



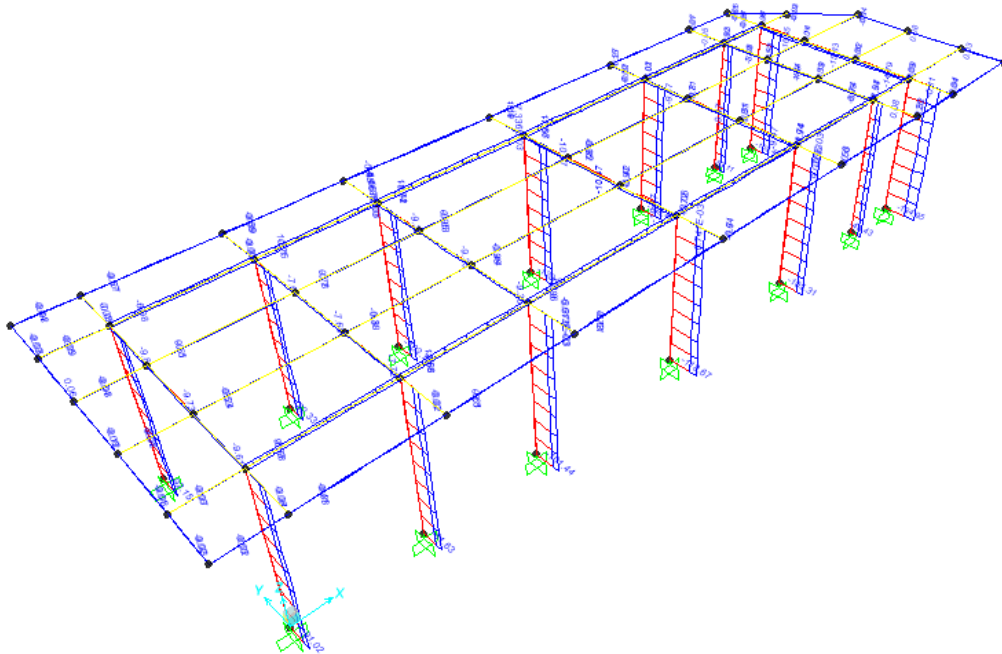
**Figura 10.2 - Combinazione SLU – Valori di Momento Flettente M22**



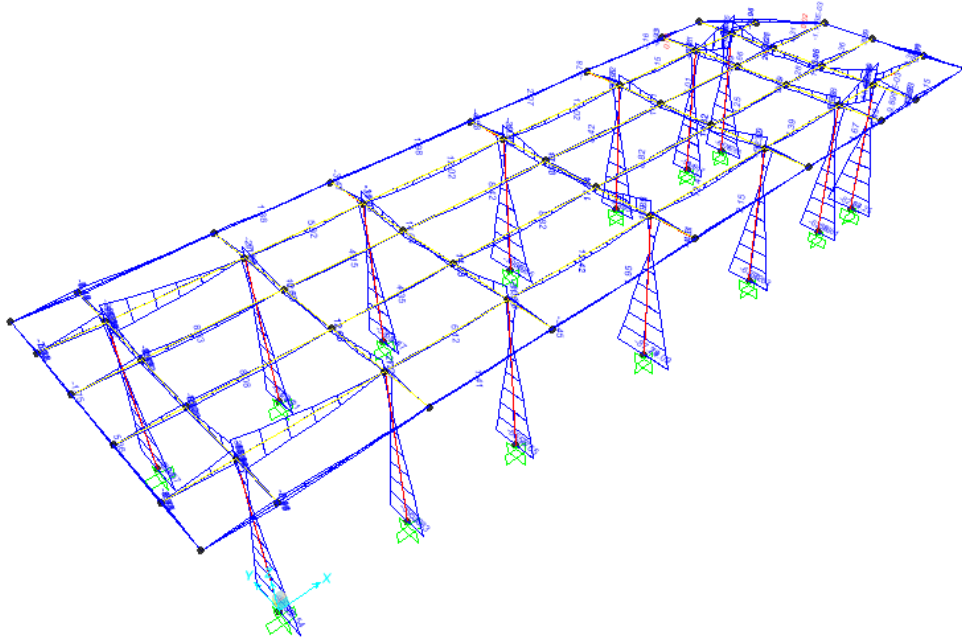
**Figura 10.3 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo di Taglio V3**



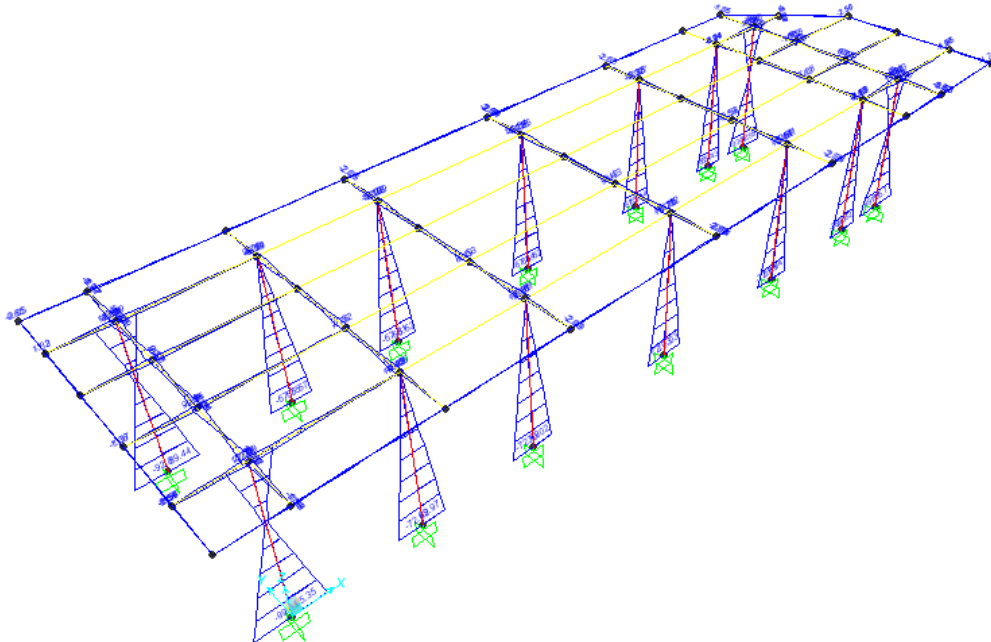
**Figura 10.4 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo di Taglio V2**



**Figura 10.5 – Combinazione SLU – Valori di Sforzo Normale**

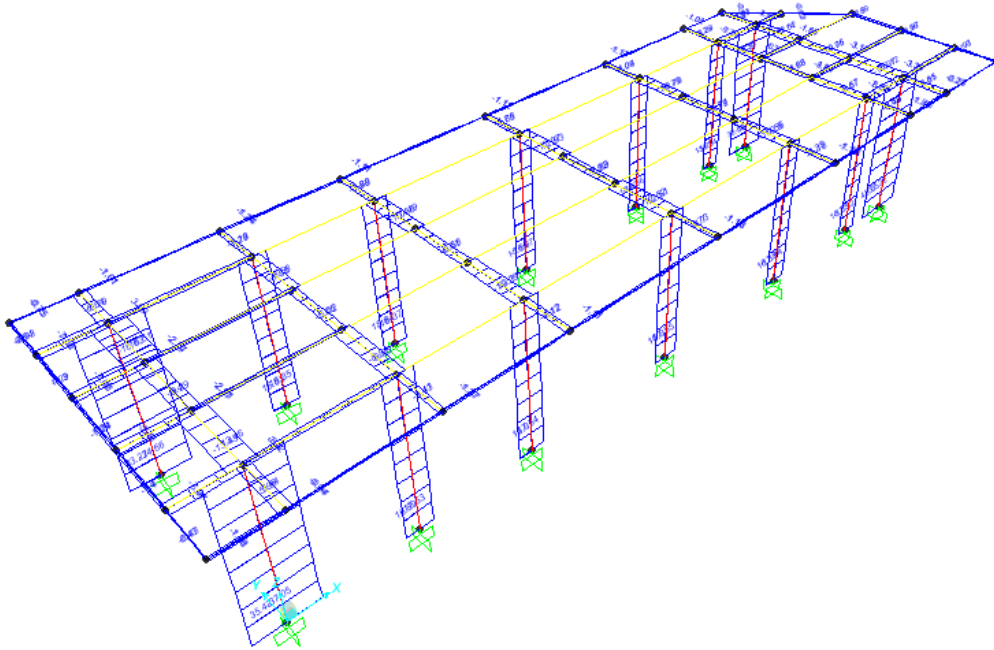


**Figura 10.6 - Combinazione SLV – Valori di Momento Flettente M33**

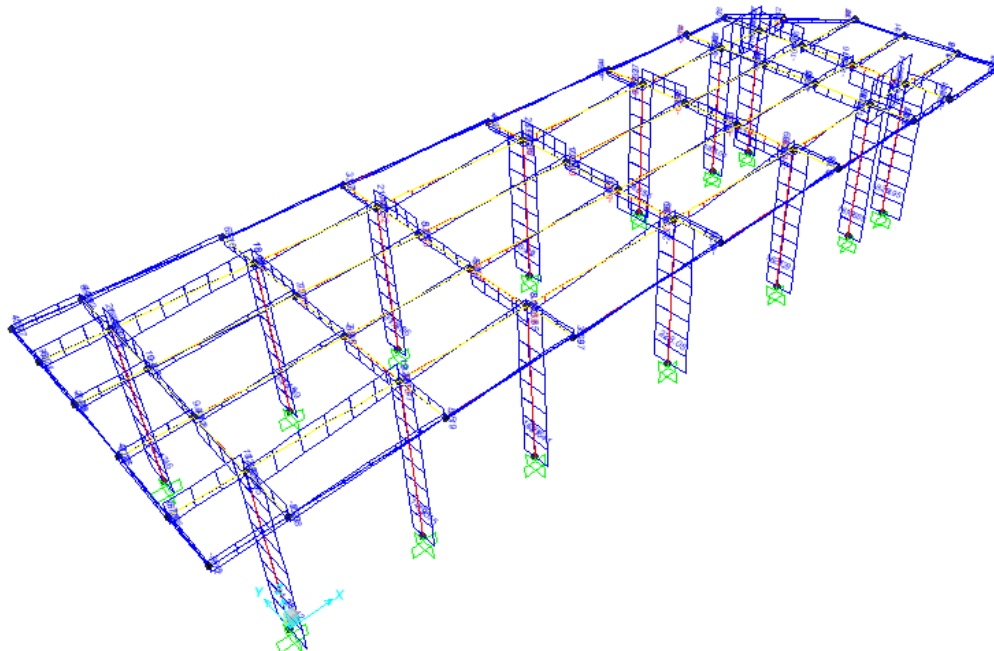


**Figura 10.7 - Combinazione SLV – Valori di Momento Flettente M22**

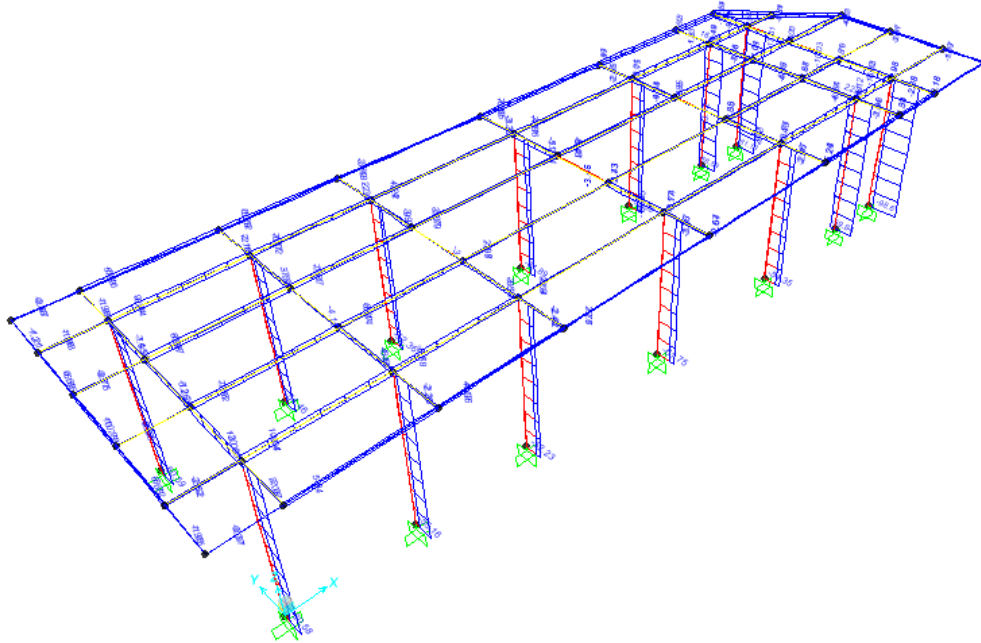





**Figura 10.8** - Combinazione SLV – Valori di Sforzo di Taglio V3



**Figura 10.9** - Combinazione SLV – Valori di Sforzo di Taglio V2



**Figura 10.10** – Combinazione SLV – Valori di Sforzo Normale

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

## 11 VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI

### 11.1 Criteri di verifica delle sezioni in acciaio

Il post-processore del software di calcolo SAP2000 è in grado di verificare le sezioni in acciaio secondo le Normative vigenti. Le verifiche svolte sono le seguenti:

#### Sforzo Normale di Trazione

Viene verificato che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0, \quad (\text{NTC Eq. 4.2.5})$$

$N_{t,Rd}$  è il min tra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.6})$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.7})$$

#### Sforzo Normale di Compressione

Viene verificato che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.9})$$

Dove:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{for Class 1, 2, or 3 cross-sections} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.10})$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{for Class 4 cross-sections} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.10})$$

### Instabilità per Sforzo Assiale

Viene verificato che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.41})$$

Dove:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_c A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{for Class 1, 2, and 3 cross-sections} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.42})$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{c,eff} A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{for Class 4 cross-sections} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.43})$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.44})$$

$$\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (\text{NTC § 4.2.4.1.3.1})$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}, \quad \text{for Class 1, 2 and 3 cross-sections} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.45})$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}, \quad \text{for Class 4 cross-sections} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.46})$$

### Momento Flettente

Viene verificato che:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.11})$$

Dove:

- Class 1 or 2 sections

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.12})$$

- Class 3 sections

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.13})$$

- Class 4 sections

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.14})$$

Se:

$$V_{Ed} \geq 0.5V_{c,Rd} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.30})$$

Allora:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[ W_{pl,y} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w} \right] f_{yk}}{\gamma_{M0}} \leq M_{y,c,Rd} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.32})$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.31})$$

$$A_v = h_w t_w$$

### Instabilità Flesso-Torsionale

Viene verificato che:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.48})$$

Dove:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.49})$$

– Class 1 or 2 sections

$$W_y = W_{pl,y} \quad (\text{NTC } \S 4.2.4.1.3.2)$$

– Class 3 sections

$$W_y = W_{el,y} \quad (\text{NTC } \S 4.2.4.1.3.2)$$

– Class 4 sections

$$W_y = W_{eff,y} \quad (\text{NTC } \S 4.2.4.1.3.2)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \cdot \frac{1}{f} \end{cases} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.50 and 4.2.53})$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (\text{NTC } \S 4.2.4.1.3.2)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.51})$$

$$\lambda_{LT,0} = 0.2$$

$$\beta = 1$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \cdot \left[ 1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right] \quad (\text{NTC Eq. 4.2.52})$$

$$M_{cr} = \psi \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} \left( \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} \right)^{0.5}$$

$$\psi = 1.75 - 1.05 \frac{M_B}{M_A} + 0.3 \left( \frac{M_B}{M_A} \right)^2 \quad \text{Table 6-1: Corrective Factor (NTC Table 4.2.X)}$$

$$\psi = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2.7$$

### Taglio

Viene verificato che:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.16})$$

Dove:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.17})$$

### Instabilità a Taglio

Se:

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.27})$$

Allora:

$$V_{c,Rd} = V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (\text{NTC Eq. C4.2.46})$$

Dove:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (\text{NTC Eq. C4.2.47})$$

$$\bar{\lambda}_w = 0.76 \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \quad (\text{NTC Eq. C4.2.50})$$

$$\tau_{cr} = k_\tau \sigma_E \quad (\text{NTC § 4.2.4.1.3.4.1})$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot h_w} = 190000 \cdot \left( \frac{t}{h_w} \right)^2 \quad (\text{NTC § 4.2.4.1.3.4.1})$$

$$k_\tau = 5.34 + 4.00 \left( \frac{h_w}{L} \right)^2 \quad (\text{NTC Eq. C4.2.51})$$

$$\chi_w = \begin{cases} \eta & \text{if } \bar{\lambda}_w < 0.83/\eta \\ 0.83/\bar{\lambda}_w & \text{if } \bar{\lambda}_w \geq 0.83/\eta \end{cases} \quad (\text{NTC Tab. C.4.2.VII})$$

### Torsione e Taglio

Viene verificato che:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1.0, \quad (\text{EC3 6.2.7(9)})$$

Dove:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{\left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1.25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right]} V_{pl,Rd} \quad (\text{I-Shapes}) \quad (\text{EC3 6.2.7(9)})$$

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{\left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right]} V_{pl,Rd} \quad (\text{Hollow Shapes}) \quad (\text{EC3 6.2.7(9)})$$

$$\rho_T = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{pl,Rd}} = \begin{cases} \sqrt{\left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1.25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right]}, & \text{for I-shapes,} \\ \sqrt{\left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right]}, & \text{for Boxes and Pipes,} \end{cases}$$

### Sollecitazioni Composte: Momento flettente – Sforzo Assiale – Taglio

Per sezioni di Classe 1 e 2, viene verificato che:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{5n} \leq 1 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.38})$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.36})$$

Dove:



$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \left( \frac{1-n}{1-0.5a} \right) \leq M_{pl,y,Rd} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.33})$$

$$M_{N,z,Rd} = \begin{cases} M_{pl,z,Rd}, & \text{for } n \leq a, \\ M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right], & \text{for } n > a \end{cases} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.34-35})$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.36})$$

$$a = \frac{A - 2b_f t_f}{A} \leq 0.5 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.37})$$

Per sezioni di Classe 3, viene verificato che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{EC3 6.2.1(7)})$$

Per sezioni di Classe 4, viene verificato che:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \quad (\text{EC3 6.2.9.3(2)})$$

Se:

$$V_{Ed} \geq 0.5V_{c,Rd} \quad (\text{NTC Eq. 4.2.30})$$

Allora:

$$f_{y,red} = (1-\rho) \cdot f_{yk} \quad (\text{NTC § 4.2.4.1.2.9})$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \quad (\text{NTC Eq. 4.2.40})$$

### Instabilità per Sollecitazioni Composte: Momento flettente – Sforzo Assiale – Taglio

Viene verificato che:

Per sezioni di Classe 1, 2, e 3:

**Method A:**

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1$$

(NTC Eq. C4.2.32)

**Method B:**

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \chi_y \cdot A f_{yk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{W_y f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \cdot W_z f_{yk}} \leq 1 \quad (\text{NTC C4.2.37})$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \chi_z \cdot A f_{yk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{W_y f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \cdot W_z f_{yk}} \leq 1 \quad (\text{NTC C4.2.38})$$

Dove:

$$k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{EC3 6.3.3(4)})$$

$$k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{EC3 6.3.3(4)})$$

Per sezioni di Classe 4:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \chi_y \cdot A f_{yk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{W_{eff,z} f_{yk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{NTC Eq. C4.2.38})$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \chi_z \cdot A f_{yk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_{yk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{W_{eff,z} f_{yk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{NTC Eq. C4.2.38})$$

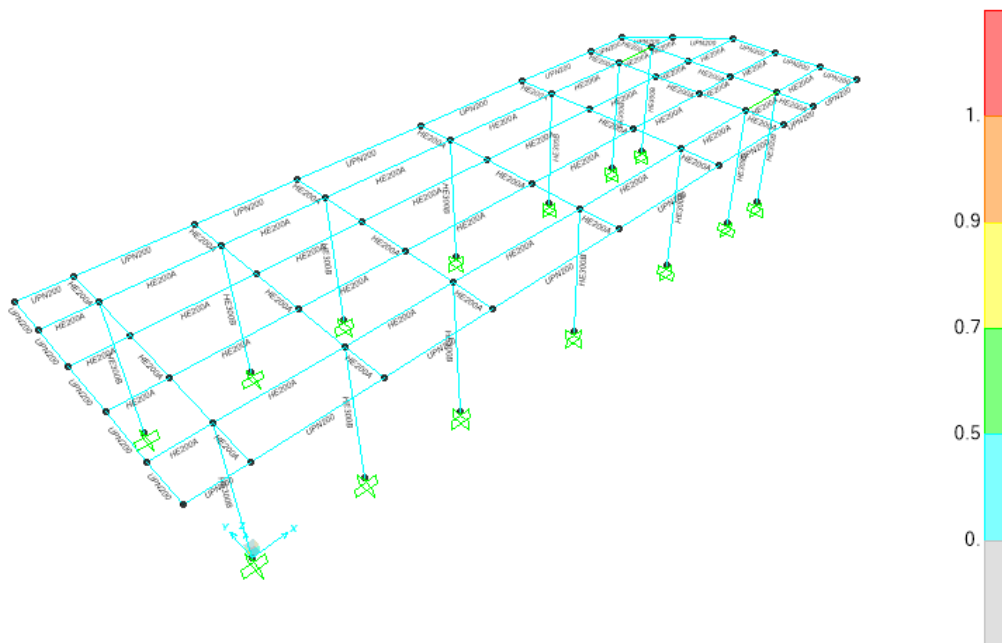
Dove:

$$k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed}e_{Ny}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed}e_{Nz}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{EC3 6.3.3(4)})$$

$$k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed}e_{Ny}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed}e_{Nz}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{EC3 6.3.3(4)})$$

## 11.2 Esito delle verifiche

Si riportano di seguito i coefficienti d'uso:



**Figura 11.1** Coef. D'uso – Valore max.0,56.

Di seguito si riportano i tabulati di verifica degli elementi principali.



**PROGETTO DEFINITIVO**

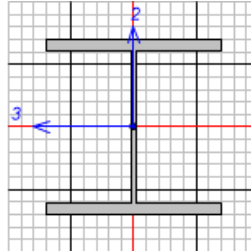
**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	68 DI 109

11.2.1 Colonna HEB300



Units:

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : kN, m, C

Frame : 30 X Mid: 19.68 Combo: SLV\_X Design Type: Column  
Length: 4.15 Y Mid: 0 Shape: HE300B Frame Type: Non Dissipative  
Loc : 0 Z Mid: 2.075 Class: Class 1 Rolled: Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Consider Torsion? Yes  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? No

GammaM0=1.05 GammaM1=1.05 GammaM2=1.25  
q0=1. Omega=1. GammaRd=1.1  
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95

Aeff=0.015 eNy=0. eNz=0.  
A=0.015 Iyy=2.517E-04 iyy=0.13 Wel,yy=0.002 Weff,yy=0.002  
It=1.890E-06 Izz=8.563E-05 izz=0.076 Wel,zz=5.709E-04 Weff,zz=5.709E-04  
Iw=1.690E-06 Iyz=0. h=0.3 Wpl,yy=0.002 Av,y=0.012  
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,zz=8.700E-04 Av,z=0.005

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.	-98.599	-44.332	-99.566	-16.807	-37.217	-0.111

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.409 = 0.033 + 0.072 + 0.304 < 0.95 OK  
= NEd/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT My,Rk/GammaM1)  
+ kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0100 004	A	69 DI 109

**AXIAL FORCE DESIGN**

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-98.599	5037.619	5037.619

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	5037.619	5471.28	12271.87	12271.87	1.

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.34	11455.646	0.68	0.812	0.795	4005.677
MajorB(y-y)	b	0.34	64163.662	0.287	0.556	0.969	4880.507
Minor (z-z)	c	0.49	6341.173	0.913	1.092	0.592	2980.598
MinorB(z-z)	c	0.49	28233.847	0.433	0.651	0.88	4432.16
Torsional TF	c	0.49	12271.87	0.657	0.827	0.751	3785.26

**MOMENT DESIGN**

	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
Major (y-y)	-44.332	-44.332	-21.954	-26.43
Minor (z-z)	-99.566	-99.566	-86.296	-88.95

	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	631.9	631.9	631.9	615.239
Minor (z-z)	294.143	294.143	294.143	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
LTB	b	0.34	0.533	0.699	0.974	1.76	2336.144

	kyy	kyz	kzy	kzz
Factors	0.597	0.539	0.997	0.899

**SHEAR DESIGN**

	Ved	Ted	Vpl,Rd	Reduction	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Factor	Ratio	Check
Major (z)	16.807	0.111	924.269	0.999	0.018	OK
Minor (y)	43.053	0.111	2345.905	0.999	0.018	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdaBarW
Reduction	924.269	1.	0.331



**PROGETTO DEFINITIVO**

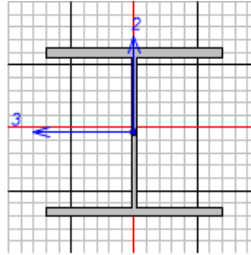
**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	70 DI 109

11.2.2 Trave HEA200



Units

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : kN, m, C

Frame : 83 X Mid: 18.805 Combo: SLV\_X Design Type: Beam  
Length: 1.75 Y Mid: 0. Shape: HE200A Frame Type: Non Dissipative  
Loc : 1.75 Z Mid: 4.15 Class: Class 2 Rolled: Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Consider Torsion? Yes  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? No

GammaM0=1.05 GammaM1=1.05 GammaM2=1.25  
q0=1. Omega=1. GammaRd=1.1  
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95

Aeff=0.005 eNy=0. eNz=0.  
A=0.005 Iyy=3.692E-05 iyy=0.083 Wel,yy=3.886E-04 Weff,yy=3.886E-04  
It=0. Izz=1.336E-05 izz=0.05 Wel,zz=1.336E-04 Weff,zz=1.336E-04  
Iw=0. Iyz=0. h=0.19 Wpl,yy=4.290E-04 Av,y=0.004  
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,zz=2.040E-04 Av,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1.75	-11.004	-64.724	-10.801	-20.662	-5.574	-0.009

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.555 = 0.007 + 0.454 + 0.094 < 0.95 OK  
= Ned/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT My,Rk/GammaM1)  
+ kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0100 004	A	71 DI 109

**AXIAL FORCE DESIGN**

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-11.004	1818.952	1818.952

Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
1818.952	1975.536	9651.385	9651.385	1.

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0.34	24986.454	0.276	0.551	0.973	1769.255
MajorB(y-y)	b 0.34	24986.454	0.276	0.551	0.973	1769.255
Minor (z-z)	c 0.49	9041.686	0.46	0.669	0.865	1573.958
MinorB(z-z)	c 0.49	9041.686	0.46	0.669	0.865	1573.958
Torsional TF	c 0.49	9651.385	0.445	0.659	0.873	1588.547

**MOMENT DESIGN**

	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
Major (y-y)	-64.724	-64.724	-31.06	-48.543
Minor (z-z)	-10.801	-10.801	-5.401	-6.481

	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	145.043	145.043	145.043	142.546
Minor (z-z)	68.971	68.971	68.971	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
LTB	b 0.34	0.312	0.568	0.983	1.73	1562.085

	kyy	kyz	kzy	kzz
Factors	0.575	0.361	0.999	0.601

**SHEAR DESIGN**

	Ved	Ted	Vpl,Rd	Reduction	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Factor	Ratio	Check
Major (z)	41.744	0.009	352.335	0.999	0.119	OK
Minor (y)	6.172	0.009	834.477	0.999	0.007	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
Reduction	352.335	1.	0.359

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

	VMajor	VMajor
	Left	Right
Major (V2)	32.226	41.744



**PROGETTO DEFINITIVO**

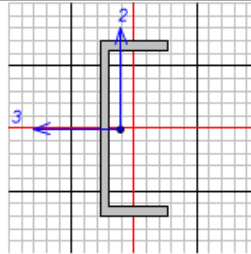
**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	72 DI 109

11.2.3 Trave UPN200



Units

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : 38 X Mid: 21.66 Combo: SLU\_Q6 Design Type: Beam  
Length: 2.143 Y Mid: 4.225 Shape: UPN200 Frame Type: Non Dissipative  
Loc : 2.143 Z Mid: 4.15 Class: Class 1 Rolled: Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? No

GammaM0=1.05 GammaM1=1.05 GammaM2=1.25  
q0=1. Omega=1. GammaRd=1.1  
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95

Aeff=0.003 eNy=0. eNz=0.  
A=0.003 Iyy=1.911E-05 iyy=0.077 Wel,yy=1.911E-04 Weff,yy=1.911E-04  
It=0. Izz=1.483E-06 izz=0.021 Wel,zz=2.700E-05 Weff,zz=2.700E-05  
Iw=0. Iyz=0. h=0.2 Wpl,yy=2.335E-04 Av,y=0.002  
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,zz=5.804E-05 Av,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2.143	0.166	0.	0.	-6.222	0.003	0.108

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.306 = 0. + 0.306 + 0. < 0.95 OK  
=  $NEd / (\chi_z N Rk / \Gamma M1) + k_{zy} (M_y, Ed + NEd eNy) / (\chi_{LT} M_y, Rk / \Gamma M1) + k_{zz} (M_z, Ed + NEd eNz) / (M_z, Rk / \Gamma M1)$  (NTC Eq C4.2.38)





**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0100 004	A	73 DI 109

**AXIAL FORCE DESIGN**

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	0.166	1088.329	1088.329

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	1088.329	1182.017	1643.778	1561.947	1.

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0.49	8627.583	0.364	0.606	0.916	997.162
MajorB(y-y)	c	0.49	8627.583	0.364	0.606	0.916	997.162
Minor (z-z)	c	0.49	669.529	1.306	1.624	0.386	420.214
MinorB(z-z)	c	0.49	669.529	1.306	1.624	0.386	420.214
Torsional TF	c	0.49	1561.947	0.855	1.026	0.627	682.914

**MOMENT DESIGN**

	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
Major (y-y)	0.	-16.349	-7.509	12.262
Minor (z-z)	0.	0.007	0.003	0.004

	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	78.945	78.945	78.945	53.422
Minor (z-z)	19.623	19.623	19.623	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
LTB	d	0.76	0.694	0.929	0.677	1.79	171.992

	kyy	kyz	kzy	kzz
Factors	0.551	0.36	1.	0.6

**SHEAR DESIGN**

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	6.222	0.108	336.524	0.018	OK
Minor (y)	0.003	0.108	334.669	9.677E-06	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdaBarW
Reduction	336.524	1.	0.287

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

	VMajor	VMajor
	Left	Right
Major (V2)	10.102	6.222

### 11.3 Verifiche di deformabilità

#### 11.3.1 Spostamenti verticali

Vengono seguiti i criteri esposti al cap.4.2.4.2.1 delle NTC:

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento (Fig. 4.2.3) è definito come

$$\delta_{\text{tot}} = \delta_1 + \delta_2 \quad [4.2.60]$$

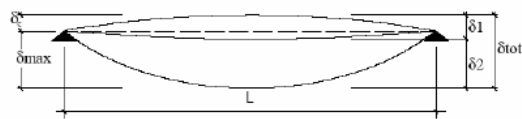


Fig. 4.2.3 -Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

essendo:

$\delta_C$  la monta iniziale della trave,

$\delta_1$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,

$\delta_2$  lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,

$\delta_{\text{max}}$  lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale =  $\delta_{\text{tot}} - \delta_C$ .

Nel caso di coperture, solai e travi di edifici ordinari, i valori limite di  $\delta_{\text{max}}$  e  $\delta_2$ , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono espressi come funzione della luce L dell'elemento.

I valori di tali limiti sono da definirsi in funzione degli effetti sugli elementi portati, della qualità del comfort richiesto alla costruzione, delle caratteristiche degli elementi strutturali e non strutturali gravanti sull'elemento considerato, delle eventuali implicazioni di una eccessiva deformabilità sul valore dei carichi agenti.

In carenza di più precise indicazioni si possono adottare i limiti indicati nella Tab. 4.2.XII, dove L è la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

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

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

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

La freccia ammassabile è pari ad:

$$L/300 = 2 \cdot 272 \text{cm} / 300 = 0,018 \text{m per carico variabile}$$

$$L/250 = 2 \cdot 272 \text{cm} / 250 = 0,021 \text{m per comb. Rara}$$

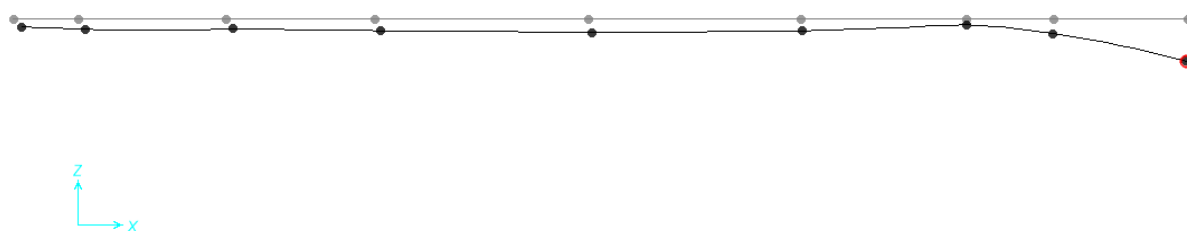
L'abbassamento vale:

$$V_z = 0,004 \text{m per carico variabile}$$

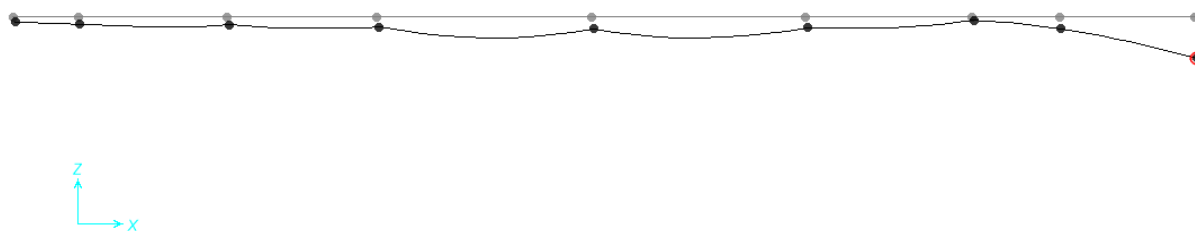
$$V_z = 0,017 \text{m per comb. Rara}$$

La verifica risulta soddisfatta

Joint	Joint Element 32		
	1	2	3
Trans	-9.323E-04	-5.828E-04	-0.01693
Rotn	-0.00103	-0.03419	7.449E-05


**Figura 11.2** Comb. Rara –  $V_z = 0,017$ .

Joint	Joint Element 32		
	1	2	3
Trans	1.924E-04	-1.795E-04	-0.00413
Rotn	-1.932E-04	-0.00806	1.673E-05


**Figura 11.3** Q neve –  $V_z = 0,004$ .

### 11.3.2 Spostamenti orizzontali

Vengono seguiti i criteri esposti al cap. 4.2.4.2.1 delle NTC:

Negli edifici gli spostamenti laterali alla sommità delle colonne per le combinazioni caratteristiche delle azioni devono generalmente limitarsi ad una frazione dell'altezza della colonna e dell'altezza complessiva dell'edificio da valutarsi in funzione degli effetti sugli elementi portati, della qualità del comfort richiesto alla costruzione, delle eventuali implicazioni di una eccessiva deformabilità sul valore dei carichi agenti.

In assenza di più precise indicazioni si possono adottare i limiti per gli spostamenti orizzontali indicati in Tab. 4.2.XIII ( $\Delta$  spostamento in sommità;  $\delta$  spostamento relativo di piano – Fig. 4.2.4).

Tab. 4.2.XIII - Limiti di deformabilità per costruzioni ordinarie soggette ad azioni orizzontali

Tipologia dell'edificio	Limiti superiori per gli spostamenti orizzontali	
	$\frac{\delta}{h}$	$\frac{\Delta}{H}$
Edifici industriali monopiano senza carro-ponte	$\frac{1}{150}$	/
Altri edifici monopiano	$\frac{1}{300}$	/
Edifici multipiano	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{500}$

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

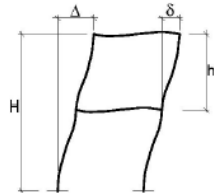


Fig. 4.2.4 - Definizione degli spostamenti orizzontali per le verifiche in esercizio

Il valore limite è pari ad  $4.0\text{m}/300 = 0,0133\text{m}$ .

Tale valore risulta inoltre più restrittivo delle tolleranze ammissibili per la vetrata di chiusura, pari a 25mm.

Joint	51	Joint Element	51
	1	2	3
Trans	7.149E-04	-2.158E-06	-1.242E-04
Rotn	6.863E-05	2.562E-04	2.840E-06

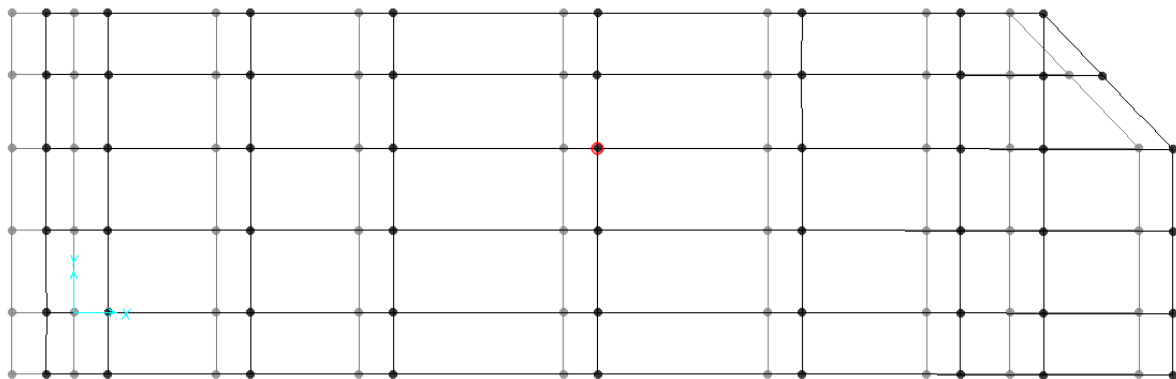

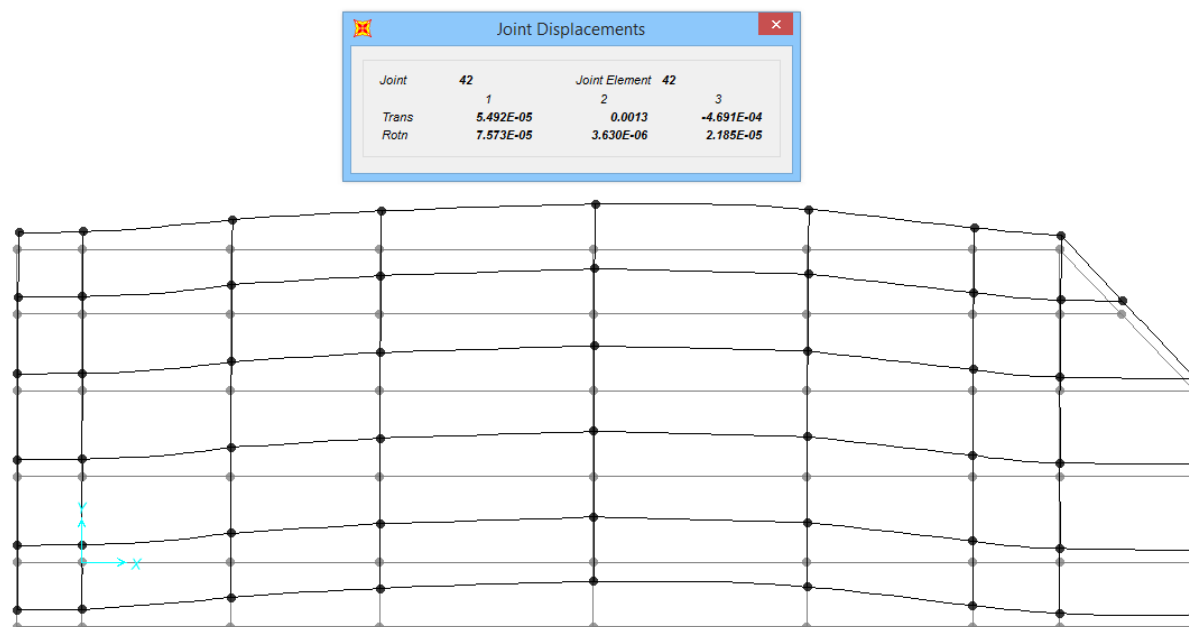


Figura 11.4 – Vento x – Valori di spostamento

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA</b> <b>CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</b> <b>FABBRICATO</b>	PROGETTO <b>NB1R</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>D 26 CL</b>	DOCUMENTO <b>FA0100 004</b>	REV. <b>A</b>



**Figura 11.5** – Vento y – Valori di spostamento

Poiché lo spostamento massimo risulta 0,0013m (dir.y) le verifiche risultano soddisfatte.


### 11.3.3 Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali

Secondo quanto riportato dalle NTC 2018 in Tab. 7.3.III, per le costruzioni ricadenti in Classe d’Uso III e IV è necessario operare una verifica di rigidità degli elementi strutturali, riferendosi allo Stato Limite di Operatività.

In particolare, secondo la norma, la verifica in termini di rigidità sulla struttura si può ritenere soddisfatta qualora la deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti di interpiano eccessivi, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall’analisi in presenza dell’azione sismica di progetto corrispondente allo SL e alla CU considerati siano inferiori ai limiti indicati. In particolare, dunque, per costruzioni ricadenti in Classe d’Uso III e IV, la norma prescrive che gli spostamenti interpiano valutati per lo SLO siano inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per le costruzioni ricadenti in Classe d’Uso I e II al § 7.3.6.1.

In definitiva si può considerare che il caso in esame ricada nel punto a) descritto in normativa, che riguarda gli edifici con tamponamenti collegati rigidamente alla struttura e che interferiscono con la deformabilità della stessa, per i quali nel caso di tamponamenti fragili è previsto di contenere gli

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA</b> <b>CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</b> <b>FABBRICATO</b>	PROGETTO NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0100 004	REV. A

spostamenti interpiano entro il 5‰ dell'altezza di piano. Tenendo conto che l'edificio in esame è in Classe d'Uso IV, le prescrizioni descritte a tale punto della normativa si modificano come segue:

$$q \cdot d_r \leq 2/3 (0,005 h)$$

dove:

q = fattore di comportamento adottato nell'analisi per lo Stato Limite considerato;

h = altezza di piano;

d<sub>r</sub> = spostamento interpiano, ovvero la differenza tra gli spostamenti al solaio superiore ed inferiore, determinato per lo SLO

Nel caso in esame si ha q<sub>SLO</sub> = 1.

Inoltre, essendo l'altezza di interpiano h<sub>1</sub> = 4,0 m, il limite massimo degli spostamenti nel caso in esame è:

$$d_r \leq 2/3 * (0,005 * 4,0) = 0.0133m$$

Joint	58	Joint Element 58		
	1	2	3	
Trans	0.00575	3.050E-05	3.657E-06	
Rotn	3.134E-06	0.00178	4.977E-04	

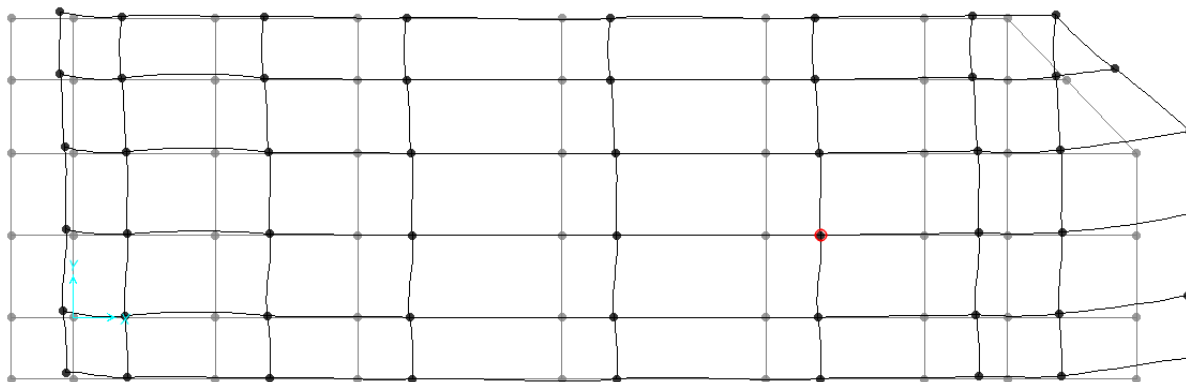
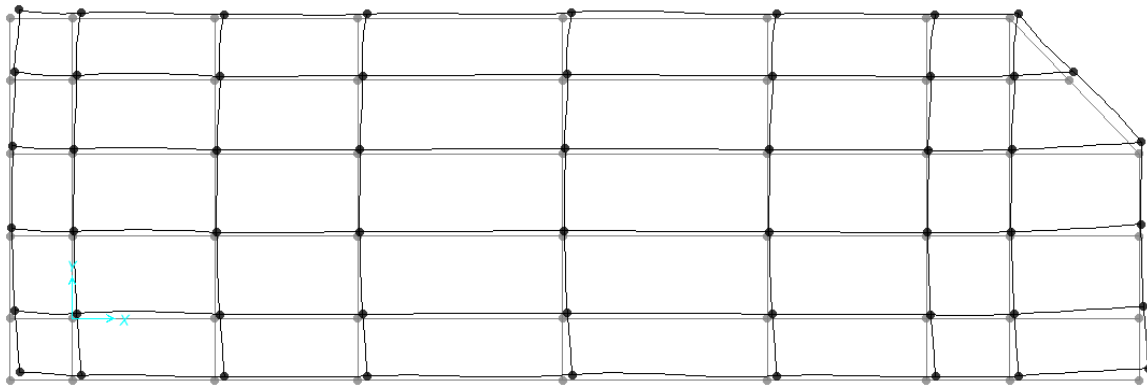


Figura 11.6 – SLO x – Valori di spostamento

Joint Displacements					
Joint	25			Joint Element	25
	1	2	3		
Trans	0.00397	0.00499	0.00105		
Rotn	1.800E-04	0.0016	0.00185		



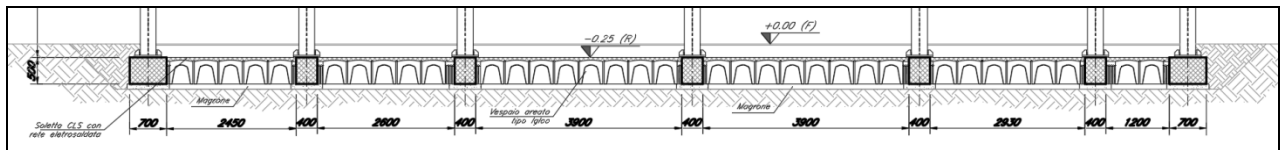
**Figura 11.7 – SLO y – Valori di spostamento**

Poiché lo spostamento massimo risulta 0,0057m (dir.x) le verifiche risultano soddisfatte.

## 12 VERIFICHE FONDAZIONE

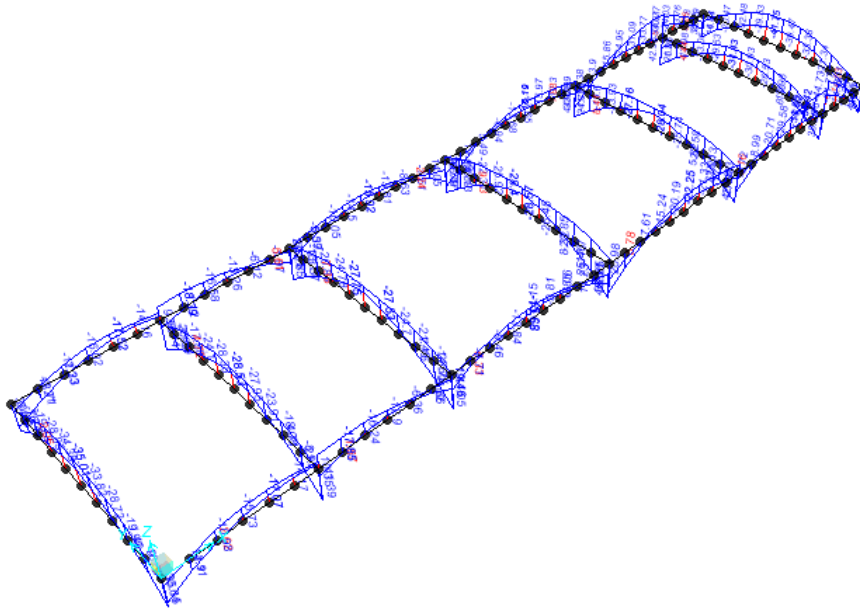
La fondazione è costituita da travi in c.a. di dimensione 70x50cm e 40x50cm

Si riporta di seguito una sezione trasversale delle fondazioni:



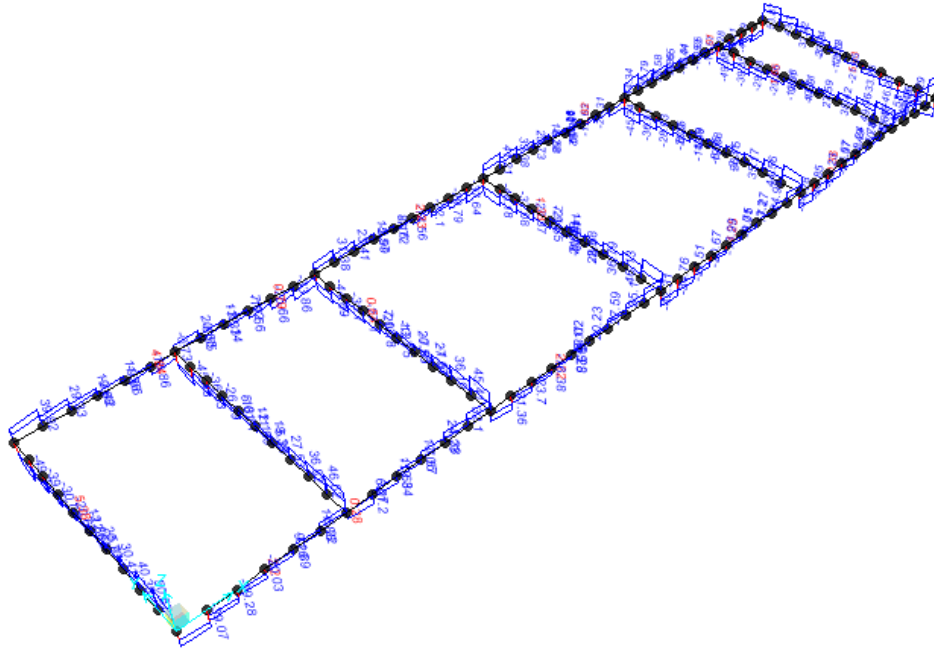
**Figura 12.1** – Sezione strutturale delle fondazioni

### 12.1 Verifiche SLU – STR

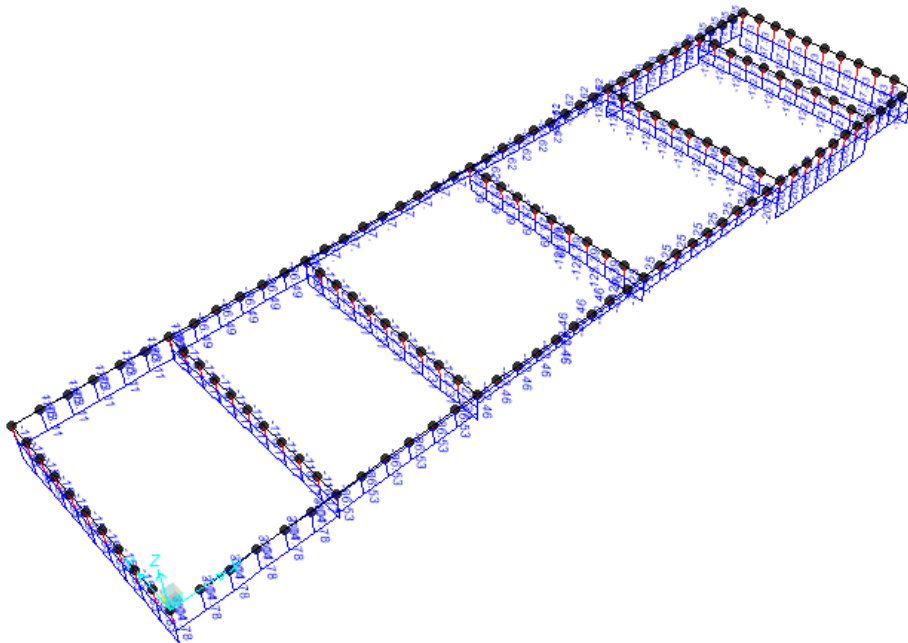


**Figura 12.2** - Combinazione SLU – Valori di Momento Flettente M33

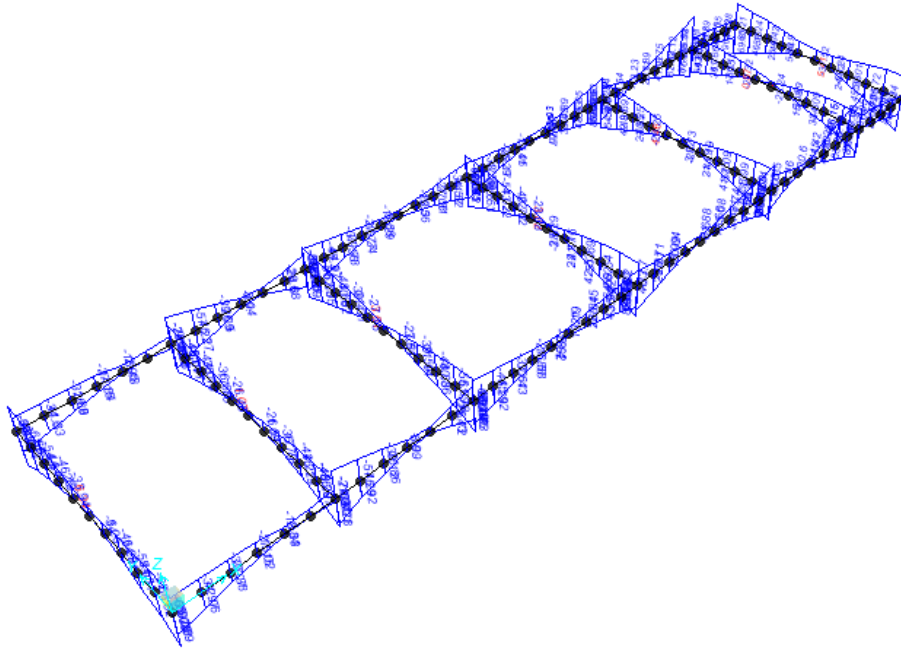




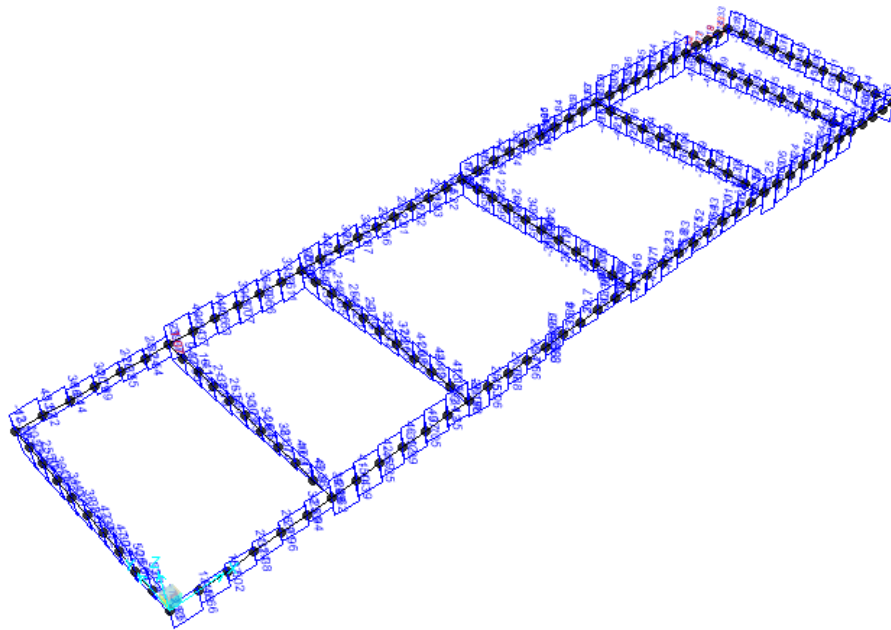
**Figura 12.3** - Combinazione SLU – Valori di Sforzo di Taglio V2



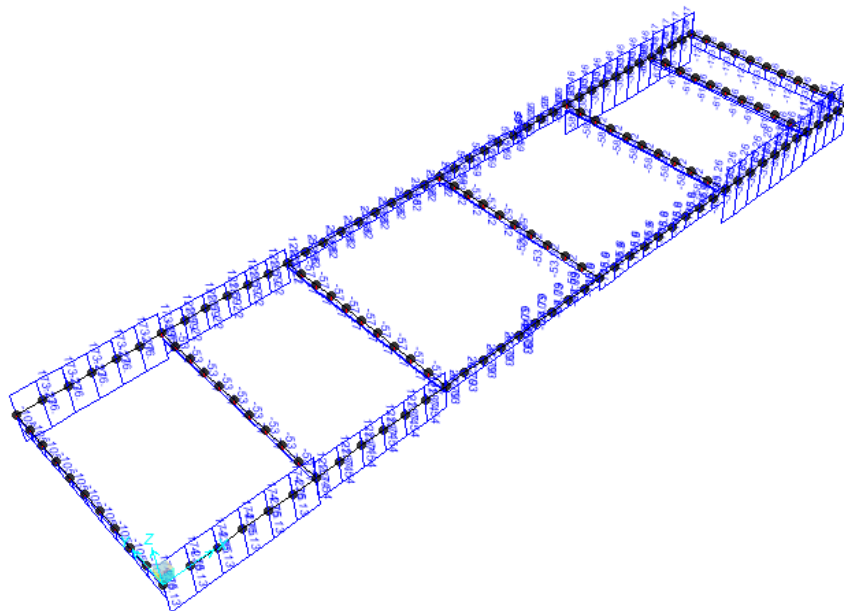
**Figura 12.4** - Combinazione SLU – Valori di Sforzo Normale N



**Figura 12.5 - Combinazione SLV – Valori di Momento Flettente M33**

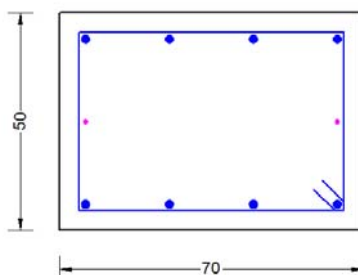


**Figura 12.6 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo di Taglio V2**


**Figura 12.7 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo Normale N**

### 12.1.1 Sezione 70x50

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	T	M3
151	2.85	Stat_lin_X15	Combination	333	-63	6	32
150	0.44	SLU_Q1	Combination	124	65	2	8
151	0.00	Stat_lin_X4	Combination	314	-47	7	-107
88	5.00	Stat_lin_Y4	Combination	89	-55	-6	99
150	1.75	SLER_Q1	Combination	91	25	1	-34
107	5.00	SLER_Q8	Combination	72	-35	-1	32



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -

Classe:

C25/30

Resistenza compress. di progetto fcd:

14.16 MPa



## PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

### RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	84 DI 109

Resistenza compress. ridotta fcd':	7.080	MPa
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	13.750	MPa

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. B1*B2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito B1*B2:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	337.50	MPa

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	70.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	4Ø20	(12.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	4Ø20	(12.6 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	7.0	cm

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	333.00	32.00	-63.00	6.00
2	124.00	8.00	65.00	2.00
3	314.00	-107.00	-47.00	7.00
4	89.00	99.00	-55.00	-6.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	91.00	-34.00
2	72.00	32.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate



## PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

### RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	85 DI 109

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 16.7 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 5.0 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
 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 in travi continue [formula (4.1.1)NTC]  
 Area efficace a flessione barre inf. (per presenza di torsione) = 12.2 cm<sup>2</sup>  
 Area efficace a flessione barre sup. (per presenza di torsione) = 12.2 cm<sup>2</sup>

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	333.00	32.00	332.73	255.67	7.990	41.6	0.19	0.70	12.6 (4.5)
2	S	124.00	8.00	123.80	217.58	27.197	42.8	0.17	0.70	12.6 (4.5)
3	S	314.00	-107.00	314.07	-252.31	2.358	8.3	0.19	0.70	12.6 (4.5)
4	S	89.00	99.00	88.79	211.12	2.133	43.0	0.16	0.70	12.6 (4.5)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 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)  
 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 compressione)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00057	43.0	-0.01449	7.0
2	0.00350	50.0	0.00010	43.0	-0.01739	7.0
3	0.00350	0.0	0.00053	7.0	-0.01472	43.0
4	0.00350	50.0	0.00001	43.0	-0.01793	7.0

### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe: 10 mm  
 Passo staffe: 14.9 cm [Passo massimo di normativa = 15.0 cm]  
 N.Bracci staffe: 2  
 Area staffe/m : 10.5 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 10.5 cm<sup>2</sup>/m]  
 Barre long. tors.: 2Ø10 (1.6 cm<sup>2</sup>)

### VERIFICHE A TAGLIO-TORSIONE

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
 Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
 Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
 Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]  
 Tsdu Momento torcente assegnato nella combinazione corrente [kNm]  
 Trdu Momento torcente resistente ultimo [kNm] (lato conglomerato)



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	86 DI 109

Mis.Sic. Misura sicur. =  $V_{sdu}/V_{cd} + T_{sdu}/T_{rdu}$ . Verifica OK se  $Mis.Sic \leq 1$   
 bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione  
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	Tsdu	Trdu	Mis.Sic.	bw	Ctg	Acw	ASt	
1	S	-63.00	175.73	818.75	307.46	6.00	162.12	-0.040	70.0	43.0	2.000	1.067	2.1
2	S	65.00	148.77	786.39	315.35	2.00	162.12	0.095	70.0	43.0	2.000	1.025	2.1
3	S	-47.00	173.28	815.81	305.49	7.00	162.12	-0.014	70.0	43.0	2.000	1.063	1.6
4	S	-55.00	144.25	780.98	307.46	-6.00	162.12	-0.033	70.0	43.0	2.000	1.018	1.8

**RISULTATI DEL SOLO CALCOLO A TORSIONE**

Area Nucl. Area del nucleo della sezione tubolare resistente [cm<sup>2</sup>]  
 Per.Nucl. Perimetro del nucleo della sezione tubolare resistente [cm]  
 Sp.Nucl. Spessore del nucleo della sezione tubolare resistente [cm]  
 Ast Area calcolata delle staffe al metro per sola torsione [cm<sup>2</sup>/m]  
 As long. Area dei ferri longitudinali calcolati per sola torsione [cm<sup>2</sup>]  
 Tsdu Momento torcente assegnato nella combinazione corrente [kNm]  
 Trsd Momento torc. resist. reso dall'area staffe riservata alla torsione [kNm]  
 Trld Momento torc. resist. reso da apposite barre longitudinali (compresa una aliquota delle barre longitudinali soggette a flessione)

N°Comb	Area Nucl.	Per.Nucl.	Sp.Nucl.	Ast	As long.	Tsdu	Trsd	Trld
1	1963	182	14.6	0.2	1.4	6.00	6.00	9.56
2	1963	182	14.6	0.1	0.5	2.00	2.00	9.56
3	1963	182	14.6	0.2	1.7	7.00	7.00	9.56
4	1963	182	14.6	0.2	1.4	-6.00	6.00	9.56

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\varnothing/2)$  e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.82	0.0	0.00	18.5	-36.6	7.0	10.6	740	12.6	18.7
2	S	1.71	50.0	0.00	33.0	-39.1	43.0	11.0	769	12.6	18.7

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2)/(2 \cdot e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
--------	-----	----	----	----	----	------	-----	----	---------

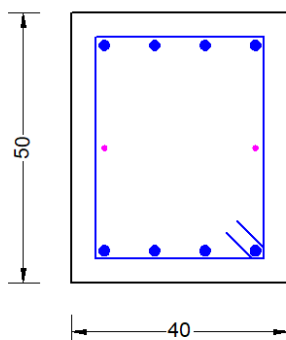
**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	87 DI 109

1	S	-0.00024	0.00014	0.50	0.60	0.000110 (0.000110)	404	0.044 (0.20)	-113.97
2	S	-0.00025	0.00013	0.50	0.60	0.000117 (0.000117)	412	0.048 (0.20)	108.65

*12.1.2 Sezione 40x50*

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	T	M3
107	4.50	SLU_Q8	Combination	92	-49	-2	19
107	0.50	SLU_Q5	Combination	121	50	-2	11
102	0.00	Stat_lin_Y7	Combination	52	-10	-1	-64
102	5.00	Stat_lin_Y10	Combination	53	-46	-1	89
107	5.00	SLER_Q8	Combination	72	-35	-1	32
107	2.50	SLER_Q1	Combination	93	3	-1	-24



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	13.750 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. B1*B2:	1.00
	Coeff. Aderenza differito B1*B2:	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	337.50 MPa	



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	88 DI 109

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	40.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	4Ø16	(8.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	4Ø16	(8.0 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.8	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.8	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.8	cm

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	92.00	19.00	-49.00	-2.00
2	121.00	11.00	50.00	-2.00
3	52.00	-64.00	-10.00	-1.00
4	53.00	89.00	-46.00	-1.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	72.00	32.00
2	93.00	-24.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.0	cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
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 in travi continue [formula (4.1.1)NTC] Area efficace a flessione barre inf. (per presenza di torsione)= 7.9 cm <sup>2</sup> Area efficace a flessione barre sup. (per presenza di torsione)= 7.9 cm <sup>2</sup>

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.
--------	-----	---	----	------	-------	----------	----	-----	--------





**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	89 DI 109

1	S	92.00	19.00	92.08	141.86	7.466	42.5	0.17	0.70	8.0 (2.6)
2	S	121.00	11.00	120.73	147.12	13.375	42.2	0.18	0.70	8.0 (2.6)
3	S	52.00	-64.00	51.78	-134.42	2.100	7.2	0.17	0.70	8.0 (2.6)
4	S	53.00	89.00	53.07	134.66	1.513	42.8	0.17	0.70	8.0 (2.6)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
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)
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 compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00035	43.2	-0.01653	6.8
2	0.00350	50.0	0.00045	43.2	-0.01585	6.8
3	0.00350	0.0	0.00019	6.8	-0.01750	43.2
4	0.00350	50.0	0.00020	43.2	-0.01746	6.8

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe:	10	mm	
Passo staffe:	14.9	cm	[Passo massimo di normativa = 15.7 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	10.5	cm²/m	[Area Staffe Minima NTC = 6.0 cm²/m]
Barre long. tors.:	2Ø10	(1.6 cm²)	

**VERIFICHE A TAGLIO-TORSIONE**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
Tsdu	Momento torcente assegnato nella combinazione corrente [kNm]
Trdu	Momento torcente resistente ultimo [kNm] (lato conglomerato)
Mis.Sic.	Misura secur. = Vsdu/Vcd + Tsdu/Trdu. Verifica OK se Mis.Sic <=1
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro   Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	Tsdu	Trdu	Mis.Sic.	bw	Ctg	Acw	ASt	
1	S	-49.00	90.88	454.75	312.68	-2.00	74.02	-0.081	40.0	43.2	2.000	1.032	1.6
2	S	50.00	94.64	459.26	312.68	-2.00	74.02	0.136	40.0	43.2	2.000	1.043	1.6
3	S	-10.00	85.70	448.53	316.73	-1.00	74.02	-0.009	40.0	43.2	2.000	1.018	0.3
4	S	-46.00	85.83	448.69	316.73	-1.00	74.02	-0.089	40.0	43.2	2.000	1.019	1.5

**RISULTATI DEL SOLO CALCOLO A TORSIONE**

Area Nucl.	Area del nucleo della sezione tubolare resistente [cm²]
Per.Nucl.	Perimetro del nucleo della sezione tubolare resistente [cm]
Sp.Nucl.	Spessore del nucleo della sezione tubolare resistente [cm]
Ast	Area calcolata delle staffe al metro per sola torsione [cm²/m]
As long.	Area dei ferri longitudinali calcolati per sola torsione [cm²]
Tsdu	Momento torcente assegnato nella combinazione corrente [kNm]



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	90 DI 109

Trsd Momento torc. resist. reso dall'area staffe riservata alla torsione [kNm]  
 Trld Momento torc. resist. reso da apposite barre longitudinali(compresa una aliquota delle barre longitudinali soggette a flessione)

N°Comb	Area Nucl.	Per.Nucl.	Sp.Nucl.	Ast	As long.	Tsdu	Trsd	Trld
1	961	126	13.6	0.1	0.7	-2.00	2.00	5.59
2	961	126	13.6	0.1	0.7	-2.00	2.00	5.59
3	961	126	13.6	0.1	0.3	-1.00	1.00	5.59
4	961	126	13.6	0.1	0.3	-1.00	1.00	5.59

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata (Mpa)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata (Mpa)  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.84	50.0	0.00	32.3	-61.4	43.2	10.8	431	8.0	8.8
2	S	2.09	0.0	0.00	23.3	-27.2	6.8	8.9	358	8.0	8.8

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

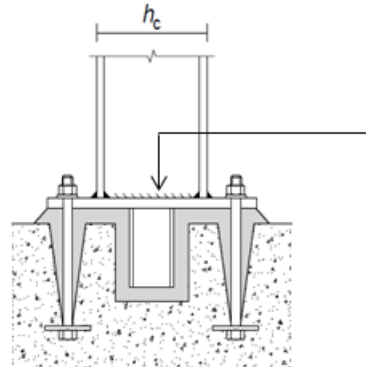
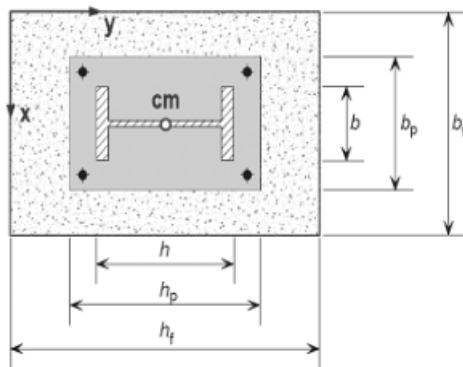
N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00039	0.00021	0.50	0.60	0.000184 (0.000184)	350	0.064 (0.20)	63.52
2	S	-0.00018	0.00016	0.50	0.60	0.000082 (0.000082)	325	0.027 (0.20)	-77.45

12.1.3 Verifica giunto di base

PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8

**Definizione delle caratteristiche geometriche e meccaniche della fondazione**

Resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo	$R_{ck} =$	30.00	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	$f_{ck} =$	25.00	MPa
Coefficiente di sicurezza relativo al calcestruzzo	$\gamma_c =$	1.50	-
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} =$	0.85	-
<b>Resistenza di calcolo a compressione</b>	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	<b>14.17</b>	<b>MPa</b>
Altezza della fondazione	$h_f =$	0.70	m
Larghezza della fondazione	$b_f =$	0.70	m
Spessore della fondazione	$d_f =$	0.50	m



**Definizione delle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione trasversale della colonna**

Resistenza a snervamento dell'acciaio della colonna	$f_{y,c} =$	355.00	MPa
Resistenza ultima dell'acciaio della colonna	$f_{u,c} =$	510.00	MPa
Coefficiente di sicurezza relativo all'acciaio	$\gamma_{MO} =$	1.05	-
Altezza della sezione trasversale della colonna	$h_c =$	300.00	mm
Larghezza della sezione trasversale della colonna	$b_c =$	300.00	mm
Spessore dell'anima	$t_{w,c} =$	11.00	mm
Spessore delle ali	$t_{f,c} =$	19.00	mm
Raggio di curvatura	$r_c =$	27.00	mm
<i>Riduzione dovuta allo spessore</i>	$f_{y,c,rid} =$	355.00	MPa
	$f_{u,c,rid} =$	510.00	MPa

								Altezze di gola saldature	
$h_w$	$d_w$	A	$I_y$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$i_y$	$A_{vz}$	$a_{w,w}$	$a_{w,f}$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm]
262.00	208.00	14907.78	2.517E+08	1.678E+06	1.869E+06	129.93	4742.78	5.50	9.50

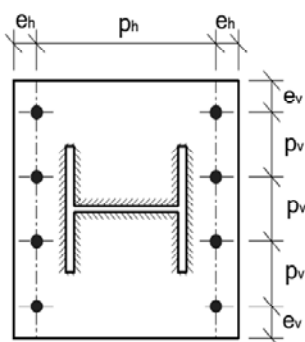
Definizione delle caratteristiche geometriche e meccaniche della piastra di base e dei tirafondi

Resistenza a snervamento dell'acciaio della piastra di base	$f_{y,bp} =$	355.00 MPa
Resistenza ultima dell'acciaio della piastra di base	$f_{u,bp} =$	510.00 MPa
Resistenza ultima dell'acciaio dei tirafondi	$f_{ub} =$	430.00 MPa
Coefficiente di sicurezza relativo ai tirafondi e saldature	$\gamma_{M2} =$	1.25 -

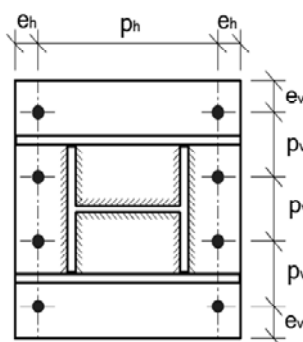
**PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8**

Altezza della piastra di base	$h_{bp} =$	500.00 mm
Larghezza della piastra di base	$b_{bp} =$	540.00 mm
Spessore della piastra di base	$t_{bp} =$	30.00 mm
Riduzione dovuta allo spessore	$f_{y,bp,rid} =$	355.00 MPa
	$f_{u,bp,rid} =$	510.00 MPa

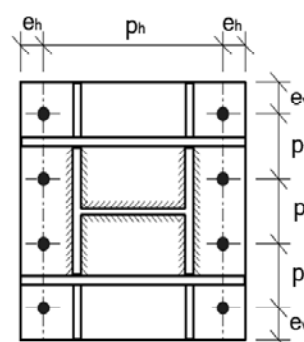
Diametro del bullone	$d =$	22.00 mm
Area della porzione filettata del gambo	$A_s =$	303.00 mm <sup>2</sup>
Numero di bulloni per ciascun lato della piastra di base	$n =$	4 -
Distanza verticale dal bordo della piastra	$e_v =$	50.00 mm
Distanza orizzontale dal bordo della piastra	$e_h =$	50.00 mm
Passo verticale	$p_v =$	146.67 mm
Passo orizzontale	$p_h =$	400.00 mm



Tipo 1



Tipo 2



Tipo 3

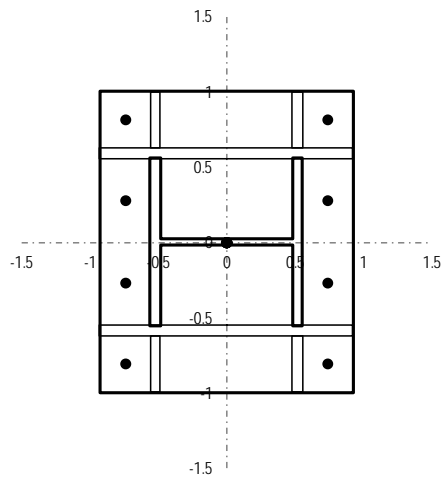
Spessore degli irrigidimenti longitudinali

Spessore degli irrigidimenti trasversali

Altezza di gola delle saldature degli irrigidimenti longitudinali

Altezza di gola delle saldature degli irrigidimenti trasversali

$t_{L,s} =$	19.00	mm
$t_{T,s} =$	19.00	mm
$a_{w,Ls} =$	9.50	mm
$a_{w,Ts} =$	9.50	mm
$d_0 =$	24.00	mm



Verifica dei parametri geometrici		
$e_{v,lim}$	28.8	160.00 mm
$e_{h,lim}$	28.8	160.00 mm
$p_{v,lim}$	52.8	200.00 mm
$e_v$	OK	OK
$e_h$	OK	OK
$p_v$	OK	OK

## PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8

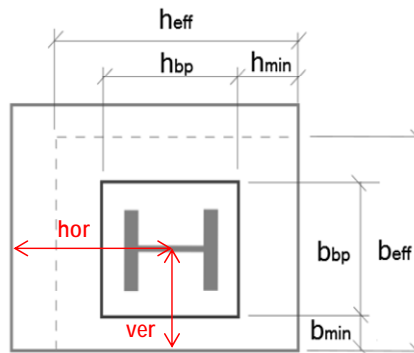
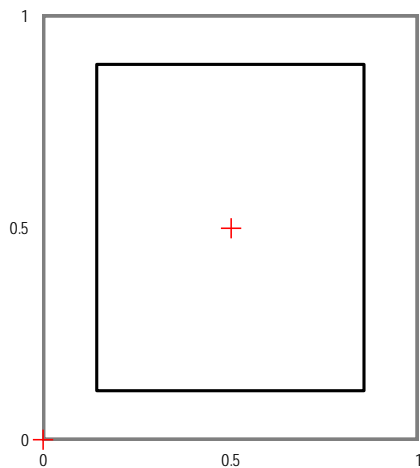
### RESISTENZA A COMPRESSIONE PURA

Spessore minimo della malta di allettamento

Resistenza minima della malta di allettamento

Posizione della piastra di base rispetto alla fondazione

$h_{g,min} =$	50.00	mm
$f_{g,min} = (0.2f_{cd} ; f_{cd})$	2.83	MPa
hor =	0.35	m
ver =	0.35	m



Distanza orizzontale minima tra la piastra ed il bordo della fondazione

Distanza verticale minima tra la piastra ed il bordo della fondazione

Fattore di incremento di resistenza calcolato analiticamente

Fattore di incremento di resistenza definito dall'utente

$h_{min} =$	0.10	m
$b_{min} =$	0.08	m
$\alpha =$	1.30	-
$\alpha_{UTENTE} =$	1.10	-

Resistenza di calcolo della fondazione

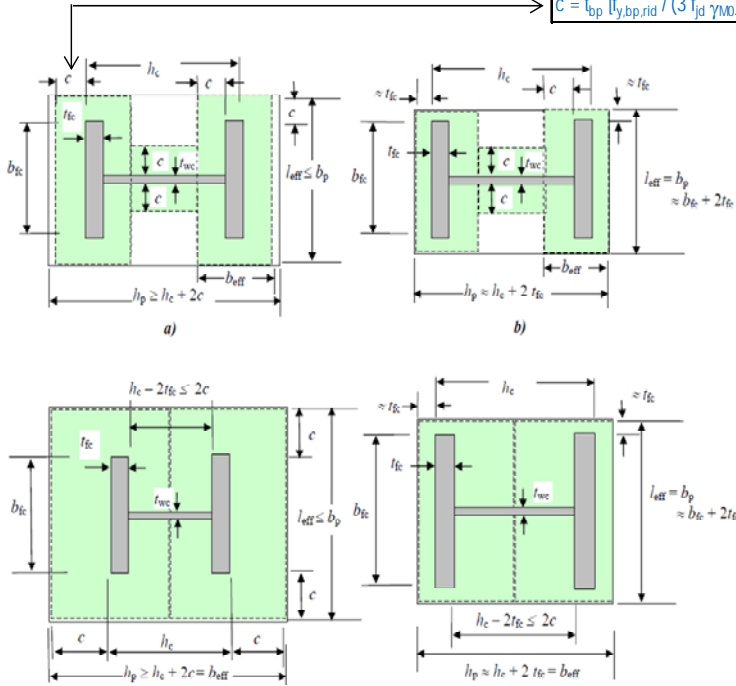
$$f_{jd} = \beta_j \alpha_{TENTE} f_{cd}$$

$\beta_j =$	0.67 -
$f_{jd} =$	10.39 MPa

Larghezza di contatto

$$c = 98.81 \text{ mm}$$

$$c = t_{bp} [f_{y, bp, rid} / (3 f_{jd} \gamma_{MO})]^{0.5}$$



PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8

Dimensioni efficaci dell'elemento T - stub relativo all'ala della colonna

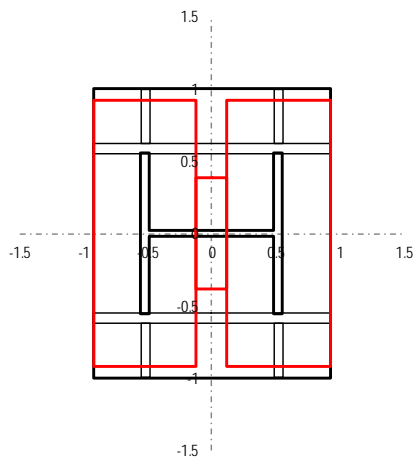
$L_{eff, T, f} =$	497.62 mm
$B_{eff, T, f, ext} =$	98.81 mm
$B_{eff, T, f, int} =$	98.81 mm

$$A_{eff, T, f} = 1.08E+05 \text{ mm}^2$$

Dimensioni efficaci dell'elemento T - stub relativo all'anima della colonna

$L_{eff, T, w} =$	208.62 mm
$B_{eff, T, w} =$	64.38 mm

$$A_{eff, T, w} = 1.34E+04 \text{ mm}^2$$



Area complessiva resistente a compressione

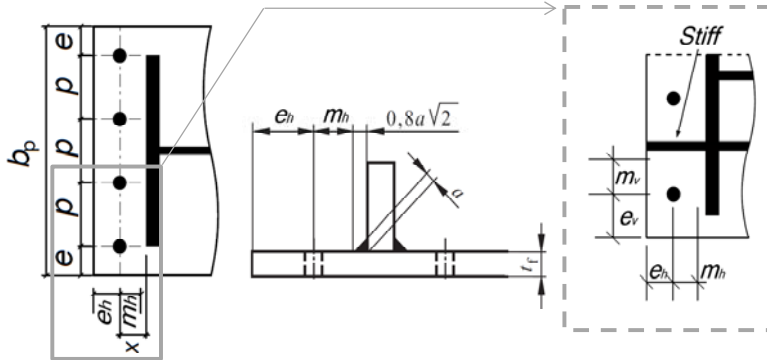
$$A_{\text{eff}} = 2.29E+05 \text{ mm}^2$$

Resistenza a compressione pura

$$N_{c,Rd} = A_{\text{eff}} f_{cd}$$

$$N_{c,Rd} = 2379.23 \text{ kN}$$

RESISTENZA A TRAZIONE PURA



Distanza orizzontale tra il bordo della piastra ed il baricentro del tirafondo

$$e_h = 50.00 \text{ mm}$$

Distanza orizzontale tra il baricentro del tirafondo e l'ala della colonna

$$x_h = 50.00 \text{ mm}$$

$$m_h = 39.25 \text{ mm}$$

Distanza verticale tra il bordo della piastra ed il baricentro del tirafondo

$$e_v = e = 50.00 \text{ mm}$$

Distanza verticale tra il baricentro del tirafondo e l'irrigidimento longitudinale

$$x_v = 51.00 \text{ mm}$$








$$m_v = 40.25 \text{ mm}$$

Passo verticale tra i tirafondi

$$p_v = p = 146.67 \text{ mm}$$

PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8

Determinazione delle lunghezze efficaci per il calcolo della resistenza a flessione della piastra di base

Circular patterns		Non-circular patterns	
	Circular yielding $l_{\text{eff,cp}} = 2m_x$		Double curvature $l_{\text{eff,nc}} = \frac{b_p}{2}$
	Individual end yielding $l_{\text{eff,cp}} = \pi m_x + 2e_x$		Individual end yielding $l_{\text{eff,nc}} = 4m_x + 1.25e_x$
	Circular group yielding $l_{\text{eff,cp}} = \pi m_x + W$		Corner yielding $l_{\text{eff,nc}} = 2m_x + 0.625e_x + e$
			Group end yielding $l_{\text{eff,nc}} = 2m_x + 0.625e_x + \frac{W}{2}$

Tipologia della piastra di base: 1

Numero di tirafondi per ciascun lato della piastra

$$n = 4$$

Percorso di svenamento circolare

$$L_{\text{eff,cp}_1} = 986.51 \text{ mm}$$

Percorso di svenamento circolare individuale con coinvolgimento del bordo

$$L_{\text{eff,cp}_2} = 893.25 \text{ mm}$$

Percorso di svenamento circolare di gruppo

$$L_{\text{eff,cp}_3} = 1126.63 \text{ mm}$$

Percorso di svenamento non circolare con doppia curvatura

$$L_{\text{eff,nc}_1} = 540.00 \text{ mm}$$

Percorso di svenamento non circolare individuale e coinvolgimento del bordo

$$L_{\text{eff,nc}_2} = 878.03 \text{ mm}$$

Percorso di svenamento non circolare individuale e coinvolgimento d'angolo

$$L_{\text{eff,nc}_3} = 758.52 \text{ mm}$$

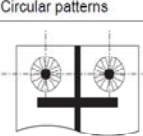
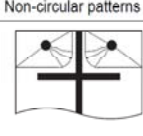


Percorso di svenamento non circolare di gruppo

$$L_{\text{eff,nc}_4} = 659.51 \text{ mm}$$

$$L_{\text{eff,min}} = 540.00 \text{ mm}$$

Tipologia della piastra di base: 2

Numero di tirafondi d'angolo	$n_{\text{corner}} =$	2
Numero di tirafondi ubicati tra gli irrigidimenti	$n_{\text{int}} =$	2
Percorso di snervamento circolare	$L_{\text{eff,cp}_1} =$	986.51 mm
Percorso di snervamento circolare individuale con coinvolgimento del bordo	$L_{\text{eff,cp}_2} =$	893.25 mm
Percorso di snervamento circolare di gruppo	$L_{\text{eff,cp}_3} =$	1033.22 mm
Percorso di snervamento non circolare individuale e coinvolgimento del bordo	$L_{\text{eff,nc}_1} =$	878.03 mm
Percorso di snervamento non circolare individuale e coinvolgimento d'angolo	$L_{\text{eff,nc}_2} =$	758.52 mm
Percorso di snervamento non circolare di gruppo	$L_{\text{eff,nc}_3} =$	762.52 mm
Percorso di snervamento non circolare di gruppo	$L_{\text{eff,nc}_4} =$	689.68 mm
	$L_{\text{eff,min}} =$	689.68 mm

Circular patterns		Non-circular patterns	
	Circular yielding $l_{\text{eff,cp}} = 2\pi m$		Corner yielding $l_{\text{eff,nc}} = \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x$
	Individual end yielding. $l_{\text{eff,cp}} = \pi m + 2e_x$		Corner yielding away from the stiffener/flange ( $m_x$ large) $l_{\text{eff,nc}} = 2m + 0.625e + e_x$

PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8

Tipologia della piastra di base: 3

Coefficiente $\alpha$ ( $\alpha$ compreso tra 4.45 e 8.00)	$\alpha =$	6.05
Coefficienti $\lambda$ per la determinazione del fattore $\alpha$ di piastra nervata	$\lambda_1 =$	0.44
	$\lambda_2 =$	0.45
	$\lambda_{1,lim} =$	0.38
	$\lambda_{2,lim} =$	1.15
	$\lambda^*_1 =$	0.44
Percorso di snervamento non circolare di gruppo	$L_{\text{eff,nc}_3} =$	802.56 mm
Percorso di snervamento non circolare di gruppo	$L_{\text{eff,nc}_4} =$	729.72 mm
	$L_{\text{eff,min}} =$	729.72 mm

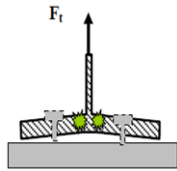
Resistenza a flessione della piastra

Lunghezza efficace per il calcolo della resistenza a flessione della piastra	$L_{\text{eff,min}} =$	729.72 mm
Momento plastico per modo di collasso senza sviluppo di forze di contatto	$M_{\text{pl},1,2,Rd} =$	55.51 kNm
Resistenza a trazione per flessione della piastra di base	$F_{\text{T},1+2,Rd} =$	1414.21 kN

Resistenza a trazione dei tirafondi

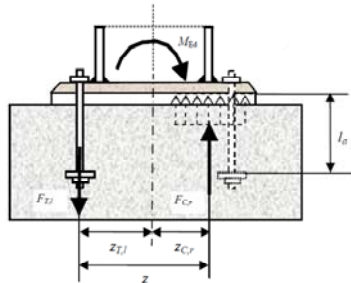
Numero dei tirafondi per ciascun lato	$n =$	4
Resistenza a trazione del singolo tirafondo	$F_{\text{t,Rd}} =$	94 kN
Resistenza per collasso dei tirafondi	$F_{\text{T},3,Rd} =$	375.24 kN





Resistenza a trazione pura	$N_{T,Rd} = -2\min(F_{1,2}; F_3)$	$N_{T,Rd} = -750.47$ kN
----------------------------	-----------------------------------	-------------------------

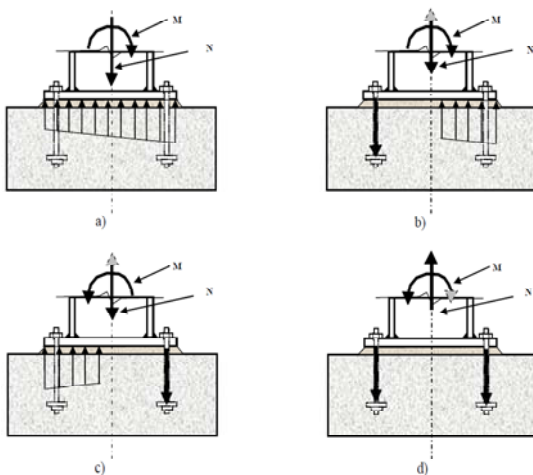
**RESISTENZA A FLESSIONE PURA**



Resistenza a compressione al di sotto della singola ala della colonna	$F_{C,Rd} =$	1119.85 kN
Resistenza a trazione per flessione piastra o trazione tirafondi	$F_{T,Rd} =$	375.24 kN
	$F_{\min,Rd}$	375.24 kN
Braccio di leva tra la risultante di compressione e quella di trazione	$z$	340.50 mm
Resistenza a flessione pura	$M_{0,Rd} = F_{\min,Rd} z$	$M_{0,Rd} = 127.77$ kNm

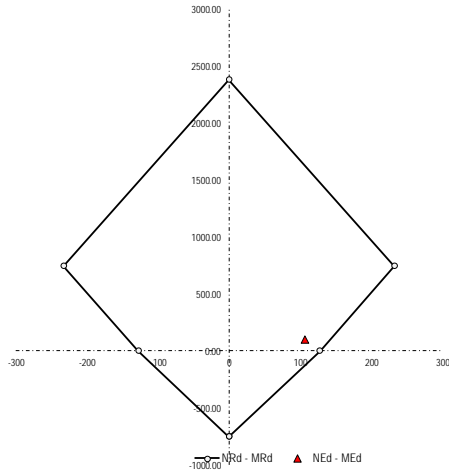
**PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8**

**RESISTENZA A PRESSO FLESSIONE**



Braccio di leva della risultante delle compressioni rispetto a metà piastra	$z_c =$	140.50 mm
Braccio di leva della risultante delle trazioni rispetto a metà piastra	$z_T =$	200.00 mm
Resistenza assiale	$N_{Rd} = F_{C,Rd} - F_{T,Rd}$	$N_{Rd} = 744.61$ kN
Resistenza a flessione	$M_{Rd} = F_{C,Rd}(z_c) - F_{T,Rd}(z_T)$	$M_{Rd} = 232.39$ kNm

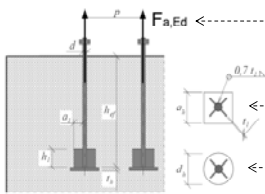
Dominio di resistenza della Piastra di Base



PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8

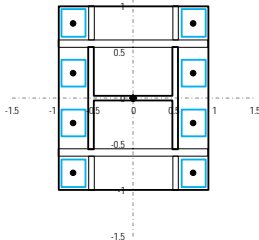
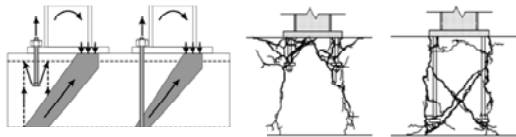
**RESISTENZA DEL SISTEMA DI ANCORAGGIO**

Sollecitazione di progetto su ciascun sistema di ancoraggio  $F_{a,Ed} = 93.81$  kN



Tipologia della rosetta di ancoraggio  
Lato o diametro della rosetta di ancoraggio  
Altezza efficace del tirafondo o ancorante  
Spessore della rosetta di ancoraggio  
Area della sezione della testa dell'ancoraggio

Type =	c
$a_n$ o $d_n$ =	80.00 mm
<i>altezza idonea</i> $h_{ef}$ =	380.00 mm
$t_n$ =	30.00 mm
$A_n$ =	4646.42 mm <sup>2</sup>



**NOTA**

La resistenza dell'ancoraggio è valutata in accordo con l'ANNESSO C relativo alla Norma ETAG 2010

**Coefficienti di sicurezza**

Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo compresso

$\gamma_c = 1.50$

Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo tesso

$\gamma_s = 1.20$

Coefficiente parziale di sicurezza per il grado di sicurezza di installazione

$\gamma_2 = 1.00$



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	99 DI 109

**PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8**

Coefficiente parziale di sicurezza per l'ancoraggio	$\gamma_{Mc} =$	1.80 -
Altezza efficace ridotta in ragione delle reali distanze dai bordi	$h_{ef}' =$	380.00 mm
Resistenza iniziale di un ancorante posto in calcestruzzo non fessurato	$N_{0,Rk,c} =$	292.12 kN
Distanza orizzontale minima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$C_{h,min} =$	150.00 mm
Distanza verticale minima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$C_{v,min} =$	130.00 mm
Distanza orizzontale massima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$C_{h,max} =$	550.00 mm
Distanza verticale massima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$C_{v,max} =$	570.00 mm
Interasse necessario per garantire la resistenza caratteristica a trazione	$S_{cr,N} =$	1140.00 mm
	$S_{cr,N}' =$	1140.00 mm
Distanza dal bordo per garantire la resistenza caratteristica a trazione	$C_{cr,N} =$	570.00 mm
	$C_{cr,N}' =$	570.00 mm
Area di un ancorante singolo senza effetti di interassi e distanze dai bordi	$A_{0,c,N}' =$	1.30E+06 mm <sup>2</sup>
Area effettiva di un ancorante singolo sulla superficie di calcestruzzo	$A_{c,N}' =$	4.90E+05 mm <sup>2</sup>
Rapporto tra l'area effettiva e l'area ideale del singolo ancorante	$A_N/A_{N0} =$	0.38 -
Fattore che tiene in conto degli effetti di bordo	$\Psi_{s,N} =$	0.77 -
Fattore che tiene in conto dell'effetto dell'armatura	$\Psi_{re,N} =$	1.00 -
Fattore che tiene in conto dell'effetto dell'eccentricità	$\Psi_{ec,N} =$	1.00 -
Fattore che tiene in conto della fessurazione del calcestruzzo	$\Psi_{ucr,N} =$	1.00 -
<b>Resistenza per collasso del cono di calcestruzzo</b>	$N_{Rd,c} =$	<b>11.75 kN</b>
$N_{Rd,c} = (N_{0,Rk,c} (A_{c,N}'/A_{0,c,N}') \Psi_{s,N} \Psi_{re,N} \Psi_{ec,N} \Psi_{ucr,N}) / (\eta \gamma_{Mc})$		
<b>Resistenza al fenomeno del pull - out</b>	$N_{Rd,p} =$	<b>464.64 kN</b>
$N_{Rd,p} = (6 A_h R_{ck} \Psi_{ucr,N}) / \gamma_{Mc}$		
Verifica dell'ancoraggio	$\rho_{anchor} =$	<b>7.98 -</b>
<i>Si rende necessaria l'introduzione di apposita armatura per scongiurare l'effetto della rottura conica del cls</i>		

**ARMATURA NECESSARIA PER L'ANCORAGGIO**

Sollecitazione sull'armatura di ciascun ancoraggio	$\Delta F_{a,Ed} =$	82.05 kN
Resistenza a snervamento dell'acciaio d'armatura	$f_{yk} =$	450.00 MPa
Coefficiente di sicurezza relativo all'acciaio d'armatura	$\gamma_s =$	1.15 -
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391.30 MPa
<b>Armatura necessaria per evitare lo sfilamento del tirafondo</b>	$A_{s,min} =$	<b>209.69 mm<sup>2</sup></b>
Diametro dell'armatura scelto per equilibrare la trazione	$\phi =$	12.00 mm
<b>Numero minimo di ferri attorno a ciascun ancoraggio</b>	$n_{f,min} =$	<b>1.85 -</b>
Numero di ferri d'armatura effettivamente disposti attorno all'ancoraggio	$n_f =$	2.00 OK

**Determinazione della lunghezza minima di ancoraggio**

Valore di progetto della resistenza a trazione del calcestruzzo	$f_{ctd} =$	1.20 MPa
Coefficiente legato alla condizione di aderenza	$\eta_1 =$	0.70 -
Coefficiente legato al diametro della barra	$\eta_2 =$	1.00 -
Valore di progetto della tensione di aderenza	$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$	1.89 MPa
Tensione nella barra	$\sigma_{sd} =$	362.76 MPa
<b>Lunghezza di ancoraggio minima per ancorare la barra</b>	$l_{b,rqd} =$	<b>577.26 mm</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	100 DI 109

**PROGETTO E VERIFICA DELLE PIASTRE DI BASE: NTC e EN 1993 - 1 - 8****PROGETTO DELLE COSTOLATURE**

Resistenza a snervamento dell'acciaio della piastra di base	$f_{y, bp, rid} =$	355.00 MPa
Spessore degli irrigidimenti longitudinali	$t_{L,s} =$	19.00 mm
Larghezza della piastra di base	$b_{bp} =$	540.00 mm
Altezza degli irrigidimenti longitudinali (al netto dello spessore della piastra)	$h_{L,s} =$	100.00 mm

**Proprietà meccaniche della sezione dotata di costole**

Area della sezione trasversale	$A_{L,s} =$	2.00E+04 mm <sup>2</sup>
Ordinata del baricentro	$z_{G,L} =$	27.35 mm
Momento d'inerzia	$J_{L,s} =$	1.74E+07 mm <sup>4</sup>
Modulo di resistenza minimo elastico	$W_{L,s} =$	1.69E+05 mm <sup>3</sup>

**Verifica delle costole longitudinali**

Distanza tra bordo piastra e bordo colonna	$d_{edge} =$	100.00 mm
Momento sollecitante	$M_{Ed,s} =$	28.05 kNm
Momento resistente	$M_{Rd,s} =$	57.26 kNm
Tasso di lavoro	$\rho_s =$	0.49 -

## 12.2 Verifiche di portanza

### Verifica a scorrimento $S_d > V$ :

- max azione orizzontale agente  $V = 275 \text{ kN} \cdot 1.1 = 303 \text{ kN}$

(somma delle reazioni orizzontali alla base dei pilastri in combinazione sismica)

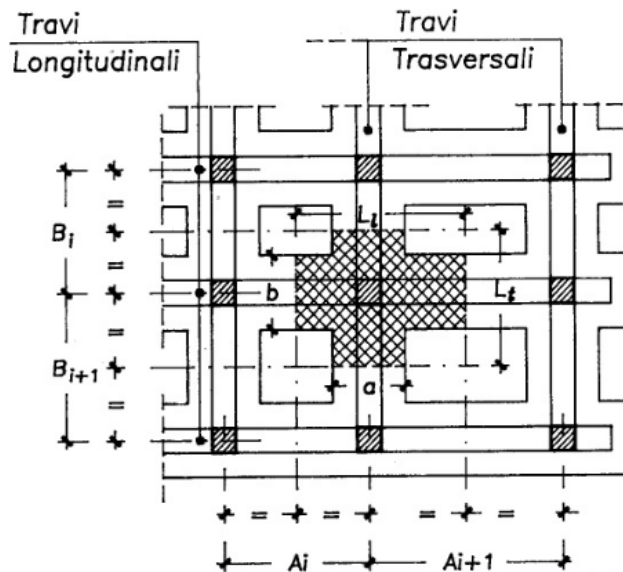
- max azione resistente  $S_d = N \cdot \tan(\Phi') = 1151 \cdot \tan(28^\circ) = 612 \text{ kN}$

(somma delle reazioni verticali alla base dei pilastri in combinazione quasi permanente + peso delle fondazioni).

La verifica è soddisfatta.

La verifica di portanza si effettua confrontando le pressioni indotte dalla sovrastruttura con il carico limite.

Il carico del generico pilastro  $P_i$  si ripartisce tra la trave longitudinale e trasversale in proporzione alla superfici di contatto con il terreno afferenti alle singole travi:



$$L_t = (B_i + B_{i+1}) / 2$$

$$L_l = (A_i + A_{i+1}) / 2$$

$$P_{li} = \frac{P_i (L_t a - ab/2)}{(L_t a + L_l b - ab)}$$

$$P_{ui} = P_i - P_{li}$$

L'effetto del graticcio è già contemplato dal modello tridimensionale, pertanto per la verifica a carico limite sarà sufficiente confrontare le pressioni risultanti al di sotto delle travi longitudinali e trasversali in condizioni SLU/SLV con il carico limite del terreno.

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO****APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	102 DI 109

La tensione massima agente viene valutata tramite il modello FEM:

$$\sigma_{\max} = K \cdot w_{\max}$$

dove:

$\sigma_{\max}$  = tensione massima nel terreno

K = costante di Winkler

$w_{\max}$  = abbassamento massimo ottenuto dal modello

nel caso specifico risulta:

$$\sigma_{\max} = 10000 \text{ kPa/m} \cdot 0.0042\text{m} = 42 \text{ kPa}$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni efficaci**

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = Ml/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

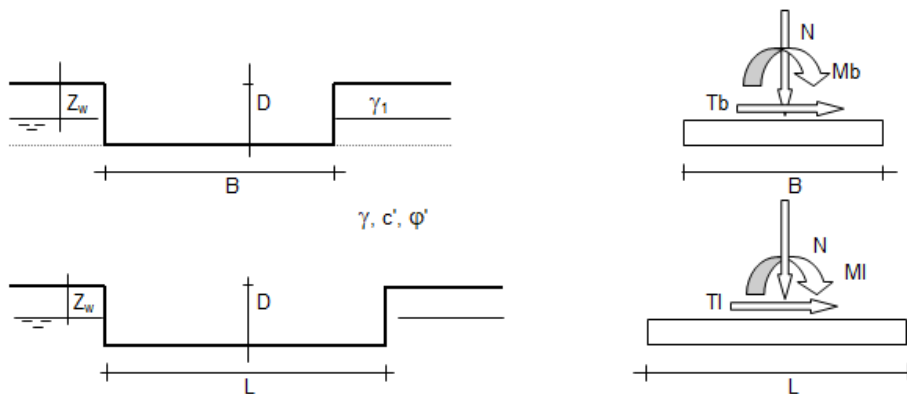
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze			
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr		
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	○		1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista	●		1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 0.70 (m)  
L = 1.00 (m)  
D = 1.00 (m)





**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO**

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	104 DI 109

Peso unità di volume del terreno

$$\gamma_1 = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$$c' = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\phi' = 28.00 \quad (^\circ)$$

Valori di progetto

$$c' = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\phi' = 28.00 \quad (^\circ)$$

Profondità della falda

$$Z_w = 8.00 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 0.70 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 19.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc, Nq, N $\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$$N_q = \tan^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \gamma \cdot \phi')}$$

$$N_q = 14.72$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$$

$$N_c = 25.80$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

$$N_\gamma = 16.72$$

**s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s <sub>$\gamma$</sub>  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L^* \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.40$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \phi' / L^*$$

$$s_q = 1.37$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_\gamma = 0.72$$

**i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i <sub>$\gamma$</sub>  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.59 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.41 \quad m = 1.59 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B^* \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \phi'))^m$$

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme e m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

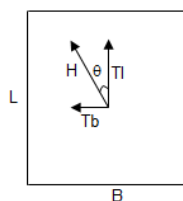
$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B^* \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \phi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 1.00$$





**PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	105 DI 109

 **$d_c, d_q, d_y$  : fattori di profondità del piano di appoggio**per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B^*$ per  $D/B^* > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) * \arctan (D / B^*)$ 

$$d_q = 1.29$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.31$$

$$d_y = 1$$

$$d_y = 1.00$$

 **$b_c, b_q, b_y$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = 1.00$$

 **$g_c, g_q, g_y$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 574.09 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**


$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 42.00 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 249.61 \geq q = 42.00 \quad (\text{kN/m}^2)$$

La verifica è soddisfatta

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b></p> <p><b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE FABBRICATO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>FA0100 004</td> <td>A</td> <td>106 DI 109</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	106 DI 109
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	106 DI 109								

### 12.3 Valutazione dei cedimenti

La tensione agente viene valutata tramite il modello FEM:

$$\sigma_k = K \cdot w_k$$

dove:

$\sigma_k$  = tensione nel terreno

K = costante di Winkler

$w_k$  = abbassamento ottenuto dal modello comb. Rara

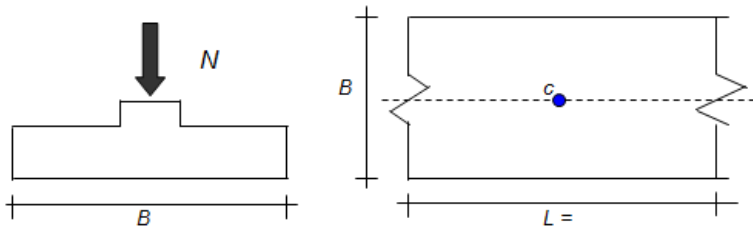
nel caso specifico risulta:

$$\sigma_k = 10000 \text{ kPa/m} \cdot 0.003\text{m} = 30 \text{ kPa}$$

Il cedimento risulta pari a 1.77cm (terreno è di natura sabbiosa pertanto può essere considerato istantaneo). Tale valore risulta compatibile con l'opera in oggetto.

CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

LAVORO:



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_{zi} = (2q/\pi) * (\alpha + \text{sen } \alpha \cos \alpha)$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (2q/\pi) * (\alpha - \text{sen } \alpha \cos \alpha)$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (4q/\pi) * (\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum (((\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})) \Delta z_i / E_i)$$

DATI DI INPUT:

B = 0.70 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 21.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 30.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 4 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>1</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	ν	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		2.00	0.0	2.0	1.0	2000	0.30	1.28
2		10.50	2.0	12.5	2.0	5000	0.25	0.36
3		15.00	12.5	27.5	1.0	10000	0.30	0.11
4		30.00	27.5	57.5	1.0	30000	0.25	0.03
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{ctot} = 1.77 \text{ (cm)}$$

(Dove N = 30 kPa\*0.7m = carico equivalente ai risultati del modello FEM)

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO****APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	108 DI 109

**13 CONCLUSIONI**

Si riportano di seguito le incidenze di armatura dei principali elementi strutturali:

Fondazione Fabbricato ..... 100 kg/m<sup>3</sup>

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO****APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA  
CURNO A BERGAMO****RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE  
FABBRICATO**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0100 004	A	109 DI 109

**14 ALLEGATO****TABULATI DI CALCOLO**