

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO

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

OPERE D'ARTE

FA04 - Fabbricato tecnologico Ponte S. Pietro (PP/ACC)

Relazione di Calcolo Fabbricato e Vasca per Serbatoio GE

SCALA:

-

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

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

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau 	Marzo 2020	A. Maran 	Marzo 2020	M. Berlingieri 	Marzo 2020	A. Perego DITTO ING. PEREGO ANDREA Settore: a) civile ambientale b) lavori pubblici c) dell'edilizia n. 32428 MINISTERO PROVINCIA DI BERGAMO

File: NB1R02D26CLFA0400001A

n. Elab.:

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA
DA CURNO A BERGAMO**FA04 - Fabbricato tecnologico Ponte S. Pietro
(PP/ACC)****Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE**PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 2 di 225

Sommario

1	Scopo del Documento	5
2	Normativa di Riferimento	6
3	Caratteristiche dei Materiali	8
3.1	Calcestruzzo Strutture di Fondazione	8
3.2	Calcestruzzo Strutture in Elevazione	9
3.3	Acciaio da c.a.	10
4	Descrizione del Fabbricato	11
4.1.1	Aspetti formali e distributivi	11
4.1.2	Struttura del fabbricato	14
5	Soluzioni Tecniche	15
6	Modellazione della Struttura	16
7	Analisi Modale	20
8	Analisi dei Carichi	22
8.1	Peso Proprio degli Elementi Strutturali	22
8.2	Carichi Permanenti Non Strutturali	22
8.3	Carichi Variabili	24
8.4	Azione della Neve	25
8.5	Azione del Vento	27
8.6	Azione Termica	29
8.7	Azione Sismica	31
9	Combinazioni di Carico	41
10	Sollecitazioni	44
10.1	Solaio di Copertura	44
10.2	Telaio Filo Fisso 1	45
10.3	Telaio Filo Fisso B	51
10.4	Trave di Colmo	54
10.5	Platea di Fondazione	58
10.6	Nervature Platea di Fondazione	62
11	Verifiche sul Solaio	64
11.1	Dimensionamento Traliccio	64
11.2	Verifiche SLU Solaio	65
11.2.1	Sezione di campata	66



RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO

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

**FA04 - Fabbicato tecnologico Ponte S. Pietro
(PP/ACC)**

**Relazione di Calcolo Fabbicato e vasca
serbatoio GE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0400 001	A	3 di 225

11.2.2	Sezione d'appoggio.....	69
11.3	Verifiche SLE Solaio.....	72
11.3.1	Sezione di campata	72
11.3.2	Sezione d'appoggio.....	74
11.3.3	Deformabilità	76
12	Verifiche Trave Filo Fisso B.....	78
12.1	Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione.....	79
12.2	Verifiche SLU – Taglio (gerarchia).....	92
12.3	Verifiche SLU – Torsione	95
12.4	Verifica limitazione armatura	96
13	Verifiche Tirante Filo Fisso 4	100
13.1	Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione.....	101
13.2	Verifiche SLU – Taglio (gerarchia).....	112
13.3	Verifiche SLU – Torsione	116
13.4	Verifica limitazione armatura	117
14	Verifiche Corrente Superiore Filo Fisso 1	121
14.1	Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione.....	122
14.2	Verifiche SLU – Taglio (gerarchia).....	129
14.3	Verifiche SLU – Torsione	132
14.4	Verifica limitazione armatura	134
15	Verifiche Pilastro B4.....	138
15.1	Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione.....	139
15.2	Verifiche SLU – Taglio (gerarchia).....	150
15.3	Verifiche SLU – Torsione	153
15.4	Verifica limitazione armatura	153
16	Nodi trave-pilastro	156
17	Verifiche degli Elementi Strutturali in Termini di Contenimento del Danno agli Elementi Non Strutturali	159
18	Verifica Sismica Tamponamenti.....	161
19	Verifiche Platea di Fondazione	165
19.1	Verifiche SLU – Flessione	166
19.1.1	Momento Flettente M11	166
19.1.2	Momento Flettente M22	168
19.2	Verifiche SLU – Taglio.....	171

**FA04 - Fabbricato tecnologico Ponte S. Pietro
 (PP/ACC)**
**Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
 serbatoio GE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	4 di 225

19.3	Verifiche SLE.....	171
19.3.1	Momento Flettente M11	171
19.3.2	Momento Flettente M22	173
20	Verifiche Nervature Platea di Fondazione	176
20.1	Verifiche SLU – Flessione	176
20.2	Verifiche SLU – Taglio	181
20.3	Verifiche SLU – Torsione	182
20.4	Verifiche SLE.....	183
20.5	Verifiche di portanza	186
21	Calcolo dei cedimenti.....	192
22	Vasca per Serbatoio.....	193
22.1	Materiali	193
22.1.1	Calcestruzzo Vasca per Serbatoio.....	193
22.1.2	Acciaio da c.a.....	194
22.2	Caratterizzazione dei Terreni.....	194
22.2.1	Caratterizzazione Geotecnica.....	194
22.2.2	Caratterizzazione Sismica.....	194
22.3	Soletta Superiore	195
22.3.1	Analisi dei Carichi	195
22.3.2	Sollecitazioni Soletta Superiore.....	196
22.3.3	Verifica Soletta Superiore.....	197
22.4	Piedritti e Soletta Inferiore	201
22.4.1	Analisi dei Carichi	202
22.4.2	Combinazioni di Carico	204
22.4.3	Sollecitazioni Piedritti e Soletta Inferiore.....	206
22.4.4	Verifiche Piedritti	209
22.4.5	Verifiche Soletta inferiore	214
22.5	Verifiche di portanza	218
23	Conclusioni	225



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	5 DI 225


1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento si inquadra nell'ambito delle opere civili relative al Progetto Definitivo relativo all'Appalto 2: PRG Ponte San Pietro e raddoppio della linea da Curno a Bergamo.

In particolare, la presente relazione di calcolo ha come oggetto le verifiche strutturali delle opere relative al Fabbricato Tecnologico FA04 - "GA San Pietro" e della vasca interrata per il serbatoio del Gruppo Elettrogeno a servizio dello stesso.

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.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO												
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE	<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>NBIR</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>FA0400 001</td> <td>A</td> <td>6 DI 225</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	6 DI 225
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	6 DI 225								

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 “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



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	7 DI 225

sistema ferroviario dell'Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal 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 stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzo Strutture di Fondazione

Per la realizzazione della platea di 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) $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione $\rightarrow \text{XC2}$ (condizioni ambientali ordinarie)
- Classe di Consistenza $\rightarrow \text{S4/S5}$
- Resistenza Media a Compressione $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 31.475 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza $\rightarrow \gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 14,17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media $\rightarrow f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,20 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara) $\rightarrow \sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 15,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente) $\rightarrow \sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 11,25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} = 2,82 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 1,88 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

Per gli elementi strutturali della fondazione si assume un copriferro di 40 mm (valutato al netto della staffa).

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 | $\rightarrow w_d \leq w_2 = 0,3 \text{ mm}$ |

3.2 Calcestruzzo Strutture in Elevazione

Per la realizzazione della struttura in elevazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C30/37 ($R_{ck} \geq 37 \text{ N/mm}^2$), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cilindrica) $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione $\rightarrow \text{XC3}$ (condizioni ambientali ordinarie)
- Classe di Consistenza $\rightarrow \text{S4}$
- Resistenza Media a Compressione $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 33.019 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza $\rightarrow \gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 17,40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media $\rightarrow f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 2,94 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 2,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,37 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara) $\rightarrow \sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 18,43 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente) $\rightarrow \sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 13,82 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} = 3,24 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 2,16 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

Per gli elementi della struttura in elevazione si assume un copriferro di 30 mm (valutato al netto della staffa).

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



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	11 DI 225

4 DESCRIZIONE DEL FABBRICATO

Il fabbricato corrisponde a un edificio tipologico denominato T3_A, caratterizzato da un solo piano fuori terra (per un'altezza massima in corrispondenza del colmo pari a circa 4,60 m), per il quale non sono previsti né Cabina MT/BT (e Locali Trasformatori), né Sala Comando e Controllo, tuttavia i relativi spazi sono comunque disponibili per un diverso utilizzo.

Non è previsto il locale adibito ai Servizi Igienici.

4.1.1 Aspetti formali e distributivi

Il Fabbricato Tecnologico si sviluppa su un solo piano fuori terra, con pianta rettangolare di dimensioni circa pari a 38,70 x 6,30 m.

L'edificio è caratterizzato da una copertura a capanna la cui altezza massima in corrispondenza del colmo è circa pari a 4,60 m (altezza sotto gronda pari a circa 3,35 m).

Pur non essendo previsti i locali sopra indicati, si mantengono le denominazioni originarie per designare gli spazi. Seguendo una sequenza logico-funzionale del fabbricato tipologico, partendo dal lato rivolto verso il Gruppo Elettrogeno, all'interno del fabbricato sono presenti due Locali Trasformatori con adiacente Locale Cabina MT/BT, il Locale Batterie con adiacente Sala Centralina IS, la Sala ACC e un Locale TLC.

Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali dei locali suddetti:

Numero	Nome Locale	Perimetro [m]	Altezza [m]	Area [m ²]
1	Locale Trasformatori	10,49	4,40	6,86
2	Locale Trasformatori	10,49	4,40	6,86
3	Cabina MT/BT	19,94	4,40	24,38
4	Locale Batterie	16,74	4,40	15,31
5	Centralina IS	29,15	4,40	50,49
6	Sala ACC	33,67	4,40	63,31
7	Locale TLC	18,20	4,40	16,06

Come si evince dalla pianta di seguito riportata, tutti i locali sono dotati di accessi indipendenti dall'esterno, al fine di consentire un più agevole svolgimento degli interventi manutentivi, limitando l'accessibilità al solo personale addetto all'attività specifica.

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	12 DI 225

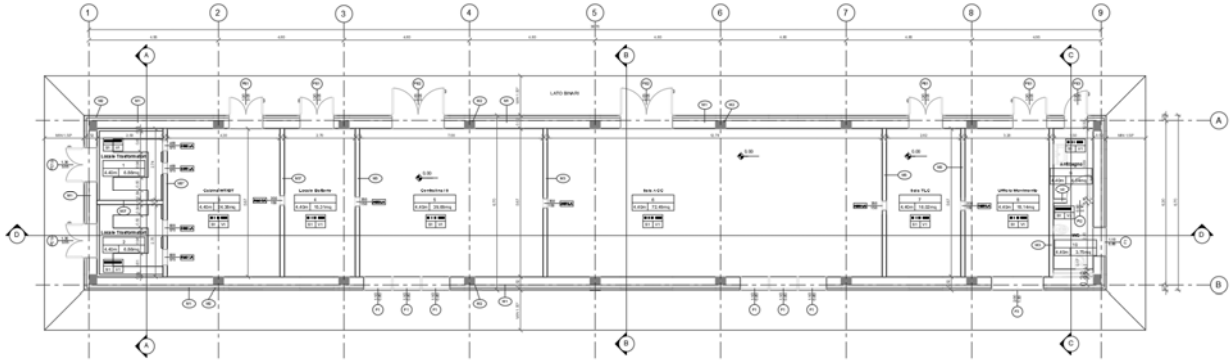


Figura 4.1 – Pianta Architettonica PPM

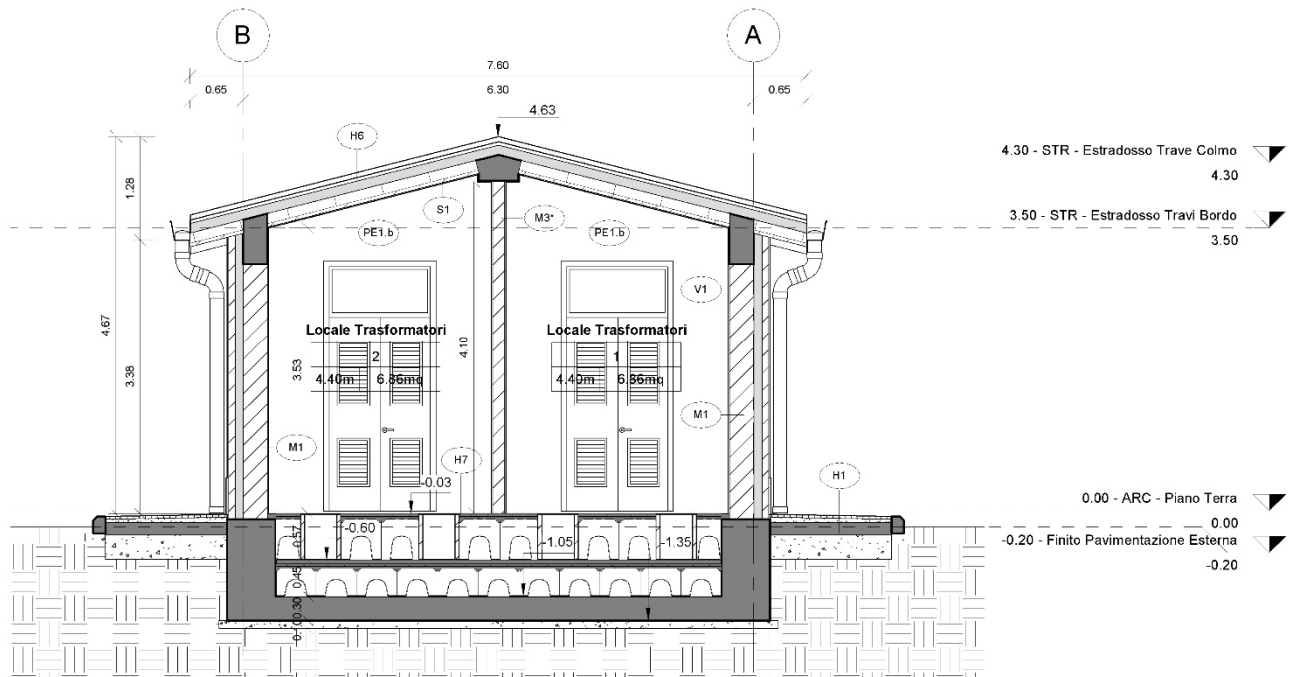


Figura 4.2 – Sezione A – A

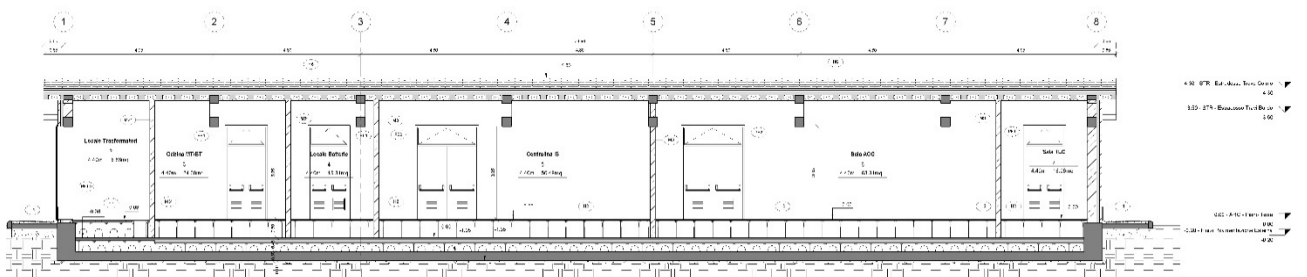


Figura 4.3 – Sezione C – C



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	13 DI 225

L'illuminazione e la ventilazione naturale dei locali sono parzialmente garantite dalle finestre a nastro previste nella Sala Centralina e nella Sala ACC e dai sopralluce delle porte esterne di accesso per tutti gli altri ambienti. Le finestre a nastro, dotate di apertura a vasistas, sono posizionate a 220 cm dal piano di calpestio interno, in modo da consentire di utilizzare la porzione di parete sottostante per la disposizione delle apparecchiature, in genere armadi contenenti schede elettroniche, quadri elettrici etc.

Per i Locali Cabina MT/BT e Trasformatori è prevista una compartimentazione antincendio REI120. Questi locali sono dunque delimitati da tamponature interne analoghe a quelle previste in tutto il resto dell'edificio, per le quali deve però essere garantita una resistenza al fuoco REI120.

Il progetto prevede di articolare le lavorazioni -da approfondire nel progetto esecutivo- nel seguente modo:

- Esecuzione della BOE per le aree interessate dal fabbricato e dal piazzale di pertinenza;
- Esecuzione di scavi atti a consentire la realizzazione delle opere;
- Realizzazione delle opere di fondazione in c.a (platea);
- Realizzazione delle opere in elevazione in c.a (pilastrate, capriate e solaio di copertura);
- Esecuzione di vespai e massetti controterra;
- Esecuzione del manto sul solaio di copertura e della relativa impermeabilizzazione;
- Realizzazione dei tamponamenti esterni, costituiti da un primo elemento in muratura tipo Poroton sp.30 cm, da uno strato di coibentazione pari a 10 cm e da un ultimo strato in muratura sp. 8 cm, e realizzazione delle partizioni interne sp.15 cm;
- Esecuzione degli intonaci e dei successivi tinteggi;
- Posa in opera degli infissi interni ed esterni, nonché delle relative griglie antintrusione;
- Esecuzione delle opere di finitura (pavimenti e rivestimenti di varia tipologia);
- Esecuzione dell'impiantistica ausiliaria del fabbricato, ovvero impianti LFM (alimentazioni, illuminazione normale e di sicurezza), impianti HVAC, altri impianti safety e security e speciali;
- Esecuzione dell'impianto di smaltimento delle acque meteoriche del fabbricato e del piazzale tramite sistema disperdente nel terreno;
- Esecuzione delle lavorazioni a completamento del piazzale comprendente la realizzazione del serbatoio interrato, della piattaforma in c.a. per il generatore elettrico, del basamento per l'antenna GSM-R prevista in adiacenza al fabbricato, delle pavimentazioni esterne e delle recinzioni.

Tutti gli scavi profondi verranno eseguiti in presenza di "Assistenza Archeologica".

4.1.2 Struttura del fabbricato

Per il Fabbricato Tecnologico si prevede una struttura intelaiata in cemento armato che si sviluppa su un solo piano fuori terra. Esso ha dimensione rettangolare in pianta di circa 39.10x6,70 m ed è caratterizzato da una copertura a capanna la cui altezza massima in corrispondenza del colmo è circa pari a 4,60 m.

Nel complesso la struttura è costituita da 8 telai in cemento armato di larghezza pari a 6 m e interasse di 4,80 m. Gli elementi strutturali verticali di ciascun telaio sono due pilastri di sezione 30x60 cm, mentre in sommità è presente una capriata triangolare in cemento armato, costituita da due correnti superiori di 30x25 cm ricalati rispetto allo spessore del solaio di copertura e un tirante inferiore di 30x30 cm. Le travi di bordo che collegano i vari telai hanno sezione estradossata di 30x59 cm mentre la trave di colmo ha una sezione di forma convessa pentagonale inglobata nel getto dei solai.

Questi ultimi, orditi parallelamente alla pendenza della falda di copertura, sono realizzati con lastre parzialmente prefabbricate di tipo predalle, con blocchi di alleggerimento in polistirolo e getto di completamento realizzato in opera. Vista l'esiguità dei carichi che interessano la copertura, non è prevista soletta superiore di ripartizione dei carichi per il solaio, il cui spessore totale è di 16 cm (4+12).

La fondazione è realizzata con una platea di 30 cm di spessore, caratterizzata da nervature laterali alte 95 cm rispetto all'estradosso della fondazione, impostata a circa -1,15 m dal piano di campagna.

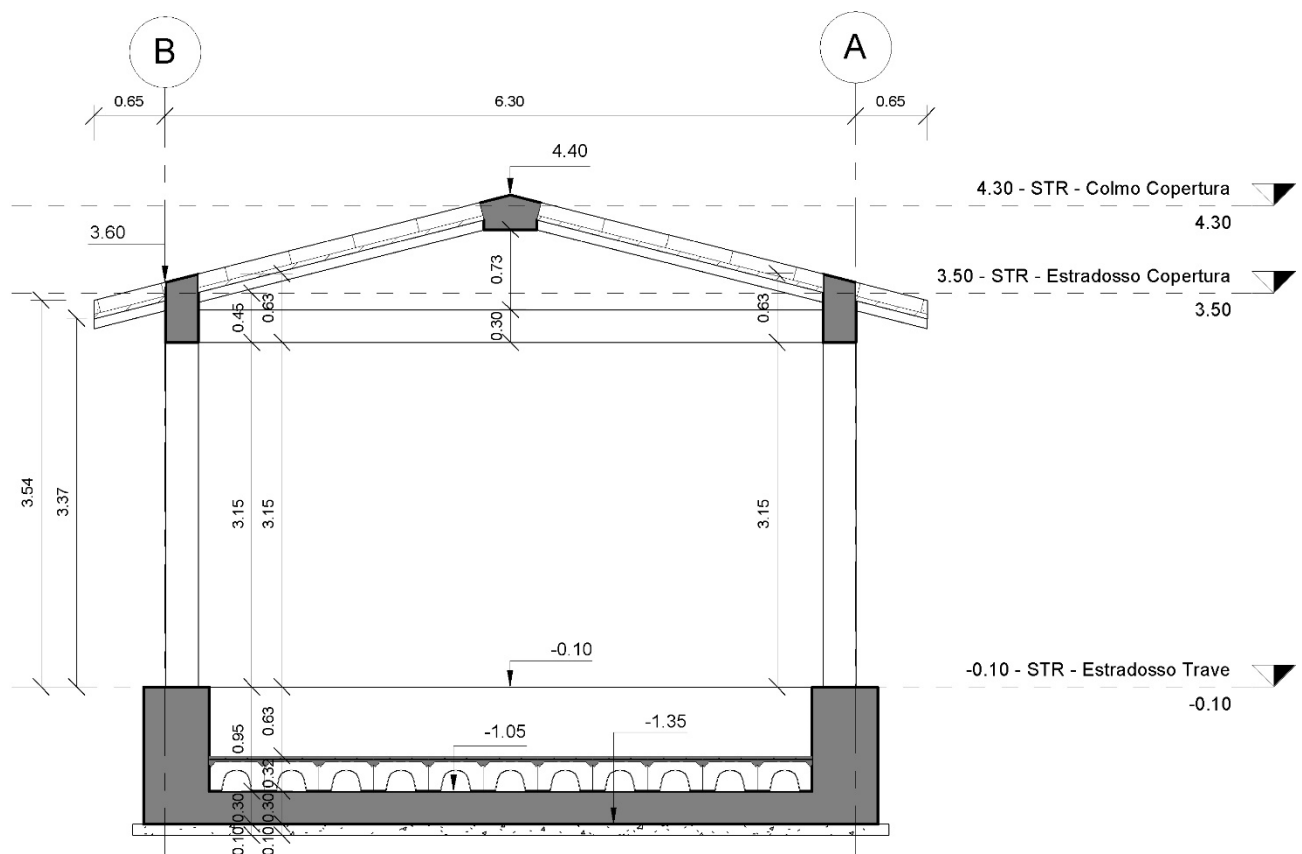


Figura 4.4 - Sezione strutturale del fabbricato



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	15 DI 225

5 SOLUZIONI TECNICHE

Vedasi relazione generale dell'intervento NB1R02D26RGFA0400001A.



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	16 DI 225

6 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

L'analisi della struttura è condotta con il programma agli elementi finiti SAP2000 versione 21.0.2, 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 pilastri modellati con elementi finiti monodimensionali tipo *frame*). In questo modello la fondazione non è rappresentata e i pilastri sono vincolati alla base con un vincolo di tipo incastro. Le tamponature e i solai non vengono modellati direttamente, ma sono rappresentati unicamente in termini di massa; dal momento che per il solaio di copertura non è prevista la realizzazione di una soletta di ripartizione dei carichi, nel modello non viene inserito alcun vincolo di piano rigido (*Diaphragm Constraint*) in corrispondenza del solaio di copertura (vedi NTC 2018 al § 7.2.6).

Secondo quanto suggerito dalle NTC 2018 al § 7.2.6, per tener conto della fessurazione dei materiali fragili, la rigidità flessionale e a taglio degli elementi in cemento armato può essere abbattuta fino al 50%. Nel modello realizzato su SAP2000, si abbatta dunque il modulo di rigidità di tutti gli elementi strutturali della metà ($E_{prog} = 0,50 * E_{cls}$).

Data la natura monodimensionale degli elementi *frame*, nei collegamenti non viene tenuto conto degli effettivi ingombri degli elementi strutturali, che hanno una lunghezza reale inferiore alla distanza fra i loro nodi estremali nello schema di calcolo. È possibile risolvere questo problema assegnando a questi elementi dei *End (Length) Offset* che consentono di identificare un tratto di rigidità infinita intorno a ogni nodo, la cui lunghezza è calcolata in automatico dal software, sulla base della geometria degli elementi che si intersecano nel nodo stesso. In questo modo i valori massimi delle sollecitazioni delle travi in corrispondenza degli appoggi non vengono letti esattamente in asse al nodo ma a una distanza che corrisponde a metà dell'altezza della sezione del pilastro convergente nel nodo stesso.

Nel secondo modello viene invece rappresentata la platea di fondazione con le nervature di bordo, modellate con elementi tipo *shell* e poggiate su suolo elastico la cui costante di Winkler è assunta pari a $k_v = 10000 \text{ kN/m}^3$ in direzione verticale e $k_h = 3300 \text{ kN/m}^3$ in direzione orizzontale, cautelativamente rispetto alle indicazioni contenute nella "Relazione Geotecnica" relativa al Fabbricato.

Su tale platea, oltre ai carichi agenti al piano terra del fabbricato, vengono applicate anche le reazioni di base dei pilastri ottenute dal modello della struttura in elevazione per ognuna delle combinazioni di carico considerate, cambiate di segno. Tenendo conto delle indicazioni riportate al § 7.2.5 delle NTC 2018, le azioni trasmesse dalla struttura in elevazione in combinazione sismica sono amplificate di un $\gamma_{Rd} = 1,1$, assumendo che la struttura si trovi in Classe di Duttività Bassa (vedi § 8.7).

Una volta lanciata l'analisi, ognuno dei due modelli può essere direttamente esportato nel software SAP2000 di CSI, all'interno del quale vengono eseguite le verifiche di resistenza agli stati limite ultimi e il controllo tensione e fessurazione per gli stati limite di esercizio.

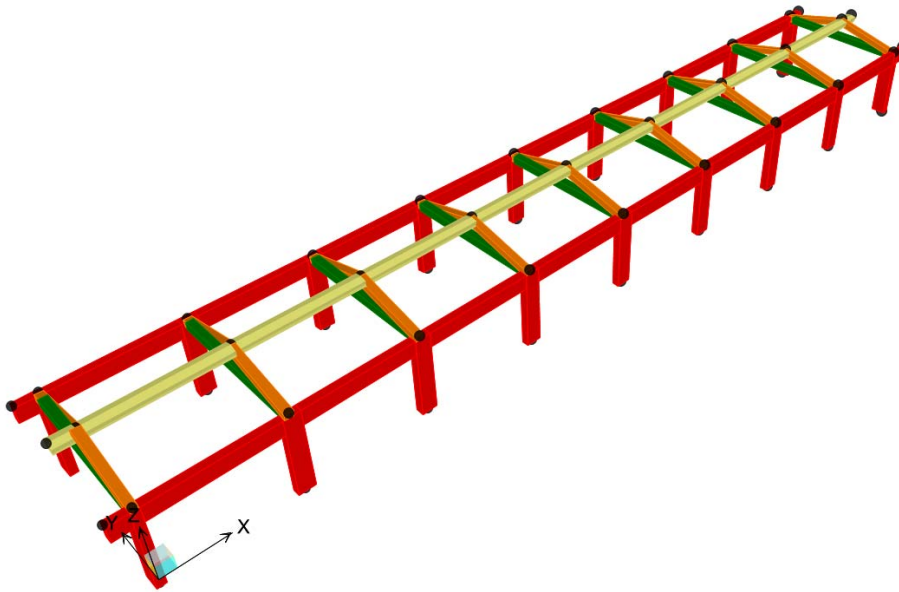


Figura 6.1 - Vista assonometrica modello struttura in elevazione - elementi estrusi

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0400 001	A	18 DI 225

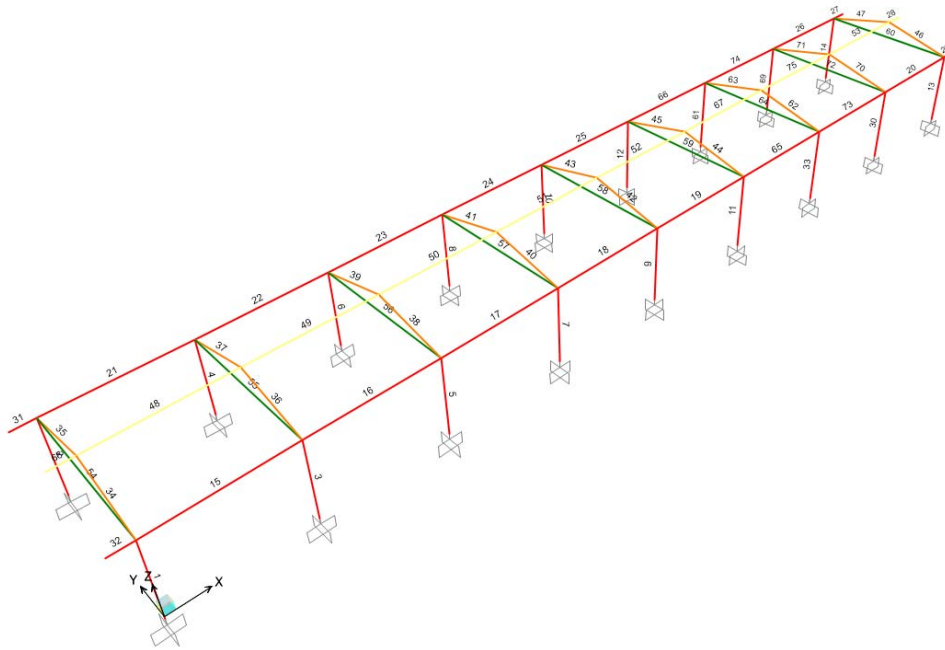
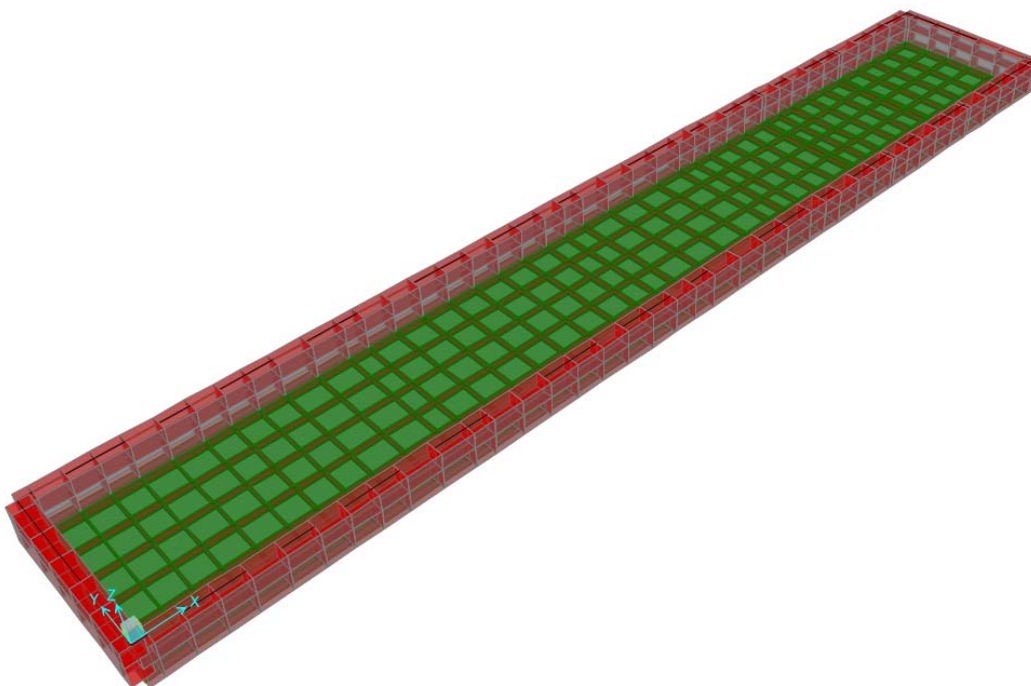


Figura 6.2 – Vista assonometrica modello struttura in elevazione - numerazione elementi frame



FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	19 DI 225

Figura 6.3 – Vista in pianta modello platea di fondazione

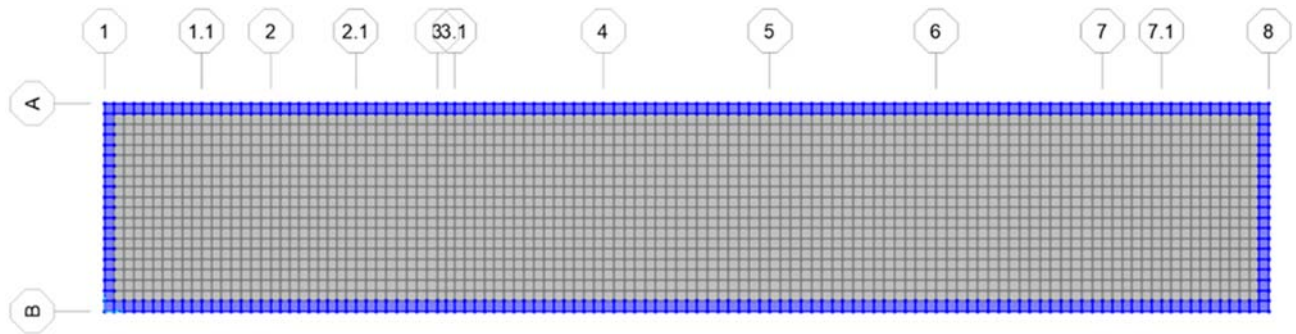


Figura 6.4 – Pianta del modello di analisi della platea di fondazione – numerazione elementi shell

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. Per una corretta progettazione sismica sono desiderabili periodi di vibrazione piuttosto bassi (tra 0,4 e 2 secondi); inoltre, è auspicabile che le prime tre forme modali siano quanto più possibile "pure": in particolare, idealmente, le prime due forme modali dovrebbero essere di traslazione, e la terza di rotazione. La condizione di forma traslazionale in direzione Ux o Uy si realizza quando si ha una massa partecipante nella data direzione Ux o Uy maggiore del 70% e una massa attivata nella rotazione Rz pressoché nulla. Al contrario, la condizione di forma puramente rotazionale si verifica quando le masse attivate nella traslazione Ux e Uy sono trascurabili e si ha una percentuale superiore al 70% di massa attivata nella rotazione Rz.

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%.

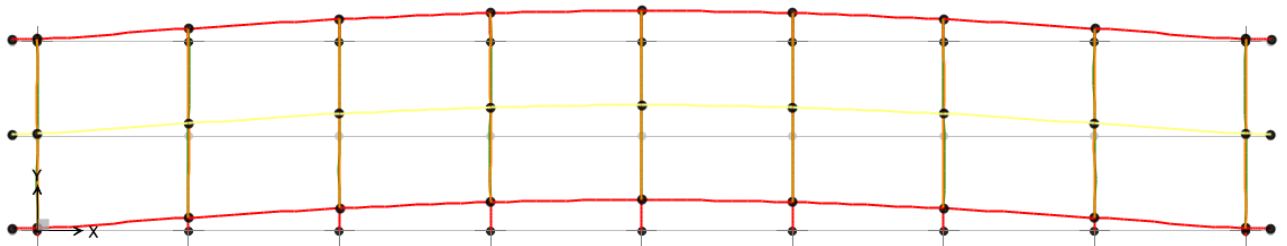
Si riportano di seguito la tabella riassuntiva di periodo e masse partecipanti relative ai primi 9 modi di vibrare e le immagini relative ai primi tre modi di vibrare della struttura.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	32.15%	0.00%	80.06%	0.00%	0.00%	80.06%	0.00%	0.00%	0.00%
MODAL	Mode	2	29.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.06%	0.00%	56.17%	56.17%
MODAL	Mode	3	25.61%	0.00%	9.64%	0.00%	0.00%	89.70%	0.00%	0.00%	56.17%
MODAL	Mode	4	24.10%	58.62%	0.00%	0.00%	58.62%	89.70%	0.00%	0.00%	56.17%
MODAL	Mode	5	21.86%	0.00%	0.00%	0.00%	58.62%	89.70%	0.00%	17.39%	73.56%
MODAL	Mode	6	18.68%	0.00%	4.95%	0.00%	58.62%	94.64%	0.00%	0.00%	73.56%
MODAL	Mode	7	16.41%	0.00%	0.00%	0.00%	58.62%	94.64%	0.00%	15.57%	89.13%
MODAL	Mode	8	14.98%	0.00%	4.70%	0.00%	58.62%	99.34%	0.00%	0.00%	89.13%
MODAL	Mode	9	14.22%	0.00%	0.00%	0.00%	58.62%	99.34%	0.00%	9.09%	98.21%
MODAL	Mode	10	13.56%	0.00%	0.66%	0.00%	58.62%	100.00%	0.00%	0.00%	98.21%
MODAL	Mode	11	11.38%	0.00%	0.00%	0.00%	58.62%	100.00%	0.00%	1.78%	100.00%
MODAL	Mode	12	11.21%	41.34%	0.00%	0.00%	99.96%	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%

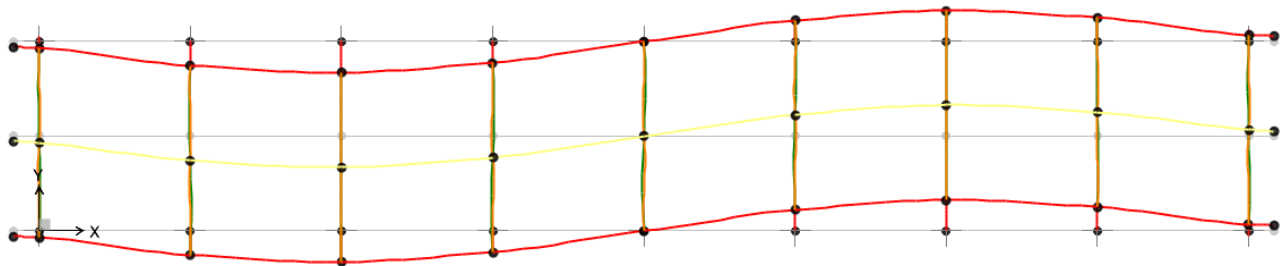
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	21 DI 225

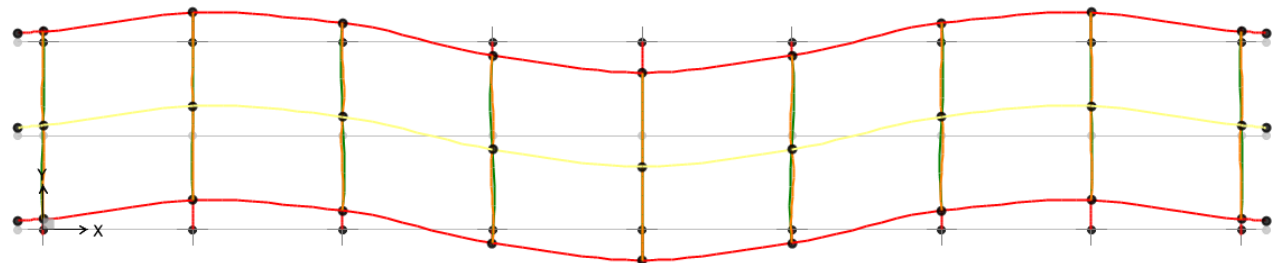
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.32148; f = 3.11064



Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0.29333; f = 3.40916



Deformed Shape (MODAL) - Mode 3; T = 0.2561; f = 3.90469



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, pilastri) viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato, assumendo $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$.

Il solaio di copertura viene realizzato con lastre prefabbricate di tipo predalle, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente. Come già detto, non è prevista soletta superiore di ripartizione dei carichi.

Tipologia Solaio	Spessore Strati [cm]	Spessore Totale [cm]	Peso Solaio – G ₁ [kN/m ²]
Solaio di Copertura	(12+4)	16	2,00

8.2 Carichi Permanenti Non Strutturali

- Tamponatura Esterna M1

Descrizione	Spessore [cm]	Densità [kg/m ³]	Carico – G ₂ [kN/m ²]
Intonaco e tinteggiatura	2,0	1.400	0,28
Blocco in Termolaterizio tipo Poroton	8,0	760	0,61
Isolamento EPS	10,0	18	0,02
Blocco in Termolaterizio tipo Poroton	30,0	760	2,28
Intonaco civile liscio	1,5	1.400	0,21
TOTALE	51,5		3,40

Considerando che l'altezza dell'edificio all'intradosso della trave di bordo e dei correnti inferiori delle capriate triangolari è $H_{int} = 3,15 \text{ m}$, il carico agente sui cordoli laterali della fondazione può essere in definitiva assunto pari a:

$$G_{2_Tamp} = 10,70 \text{ kN/m}$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	23 DI 225

- Solaio di Fondazione

Sulla platea di fondazione sono previste tre tipologie di pacchetti di finitura, in funzione delle diverse destinazioni d'uso dei locali, come descritto nelle tabelle seguenti:

H2 - SOLAIO A TERRA PAVIMENTO GALLEGGIANTE E IGLOO

Descrizione	Spessore [cm]	Densità [kg/m ³]	Carico – G ₂ [kN/m ²]
Pavimento Galleggiante	60		0,80
Soletta in c.a.	5	2.500	1,25
Foglio separatore in polietilene			
Isolamento XPS	8	50	0,04
Soletta c.a.	5	2.500	1,25
Intercapedine cupolex	27		0,04
Incidenza Tramezzi			2,00
TOTALE	105		5,38

H3 - SOLAIO A TERRA LOCALI SPOGLIATOIO E WC

Descrizione	Spessore [cm]	Densità [kg/m ³]	Carico – G ₂ [kN/m ²]
Pavimento in Gres Porcellanato	3	2.300	0,69
Massetto di posa Pavimentazione	4	1.200	0,48
Massetto alleggerito in argilla espansa o perlite	8	1.200	0,96
Soletta c.a.	5	2.500	1,25
Intercapedine cupolex NON Aerata	40		0,06
Soletta c.a.	5	2.500	1,25
Foglio separatore in polietilene			
Isolamento XPS	8	50	0,04
Soletta c.a.	5	2.500	1,25
Intercapedine cupolex	27		0,04
Incidenza Tramezzi			2,00
TOTALE	105		8,02

H7 - SOLAIO A TERRA LOCALI TRASFORMATORI

Descrizione	Spessore [cm]	Densità [kg/m ³]	Carico – G ₂ [kN/m ²]
Soletta in c.a.	7	2.500	1,75
Intercapedine cupolex NON Aerata	50		0,05
Soletta c.a.	5	2.500	1,25
Foglio separatore in polietilene			
Soletta c.a.	5	2.500	1,25
Intercapedine cupolex	35		0,05
Incidenza Tramezzi			2,00
TOTALE	103		6,36

- *Solaio di Copertura*

I carichi associati alle finiture di copertura sono riassunti nella tabella seguente:

H6 - SOLAIO COPERTURA

Descrizione	Spessore [cm]	Densità [kg/m ³]	Carico – G ₂ [kN/m ²]
Manto di copertura in tegole di laterizio	1,5		0,52
Guaina Impermeabilizzante	0,2	219	0,00
Massetto in cls alleggerito	4	1.200	0,48
Isolamento in XPS	12	50	0,06
TOTALE	17,7		1,06

8.3 Carichi Variabili

	Categoria	Denominazione	Q _k [kN/m ²]
Solaio di Copertura	Categoria H1 - Coperture Accessibili per sola Manutenzione	Q _H	0,5
Solaio di Fondazione	Cat. E2 - Ambienti ad uso industriale da valutarsi caso per caso – LOCALE CENTRALINA IS E BATTERIE	Q _{SIAP} Q _{Batterie}	18
	Cat. E2 - Ambienti ad uso industriale da valutarsi caso per caso – LOCALI TRASFORMATORI	Q _{Trasformatori}	30
	Cat. E2 - Ambienti ad uso industriale da valutarsi caso per caso – TUTTI GLI ALTRI AMBIENTI	Q _{ACC} Q _{TLC} Q _{UM} Q _{Cabina_MT/BT}	10
	Cat. E2 - Ambienti ad uso industriale da valutarsi caso per caso – Locale WC	Q _{WC}	4

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0400 001	A	25 DI 225

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: Curno

CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE

■	Zona I - Alpina Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
□	Zona I - Mediterranea Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/802)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
□	Zona II Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Ischia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
□	Zona III 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, Terri, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$

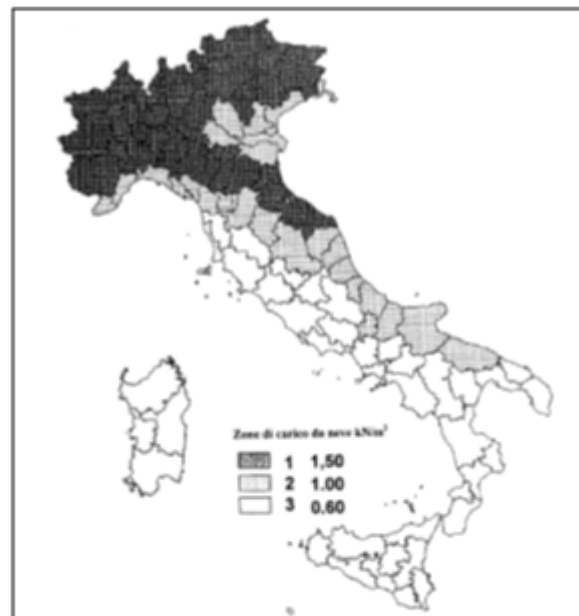
q_k (carico neve sulla copertura [N/mq]) = $\mu_k q_{sk} C_{e1} C_t$ μ_k (coefficiente di forma) q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq]) C_{e1} (coefficiente di esposizione) C_t (coefficiente termico)

Valore caratteristico della neve al suolo

a_s (altitudine sul livello del mare [m])	240
q_{sk} (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1.54

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_{e1}
Normale	Area in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	26 DI 225

CALCOLO AZIONE DELLA NEVE - NTC 2018 §3.4
Caratteristiche del Sito

Zona	NTC 2018 §3.4.2	I - Alpina
Altitudine s.l.m.	as =	240 m
Valore di riferimento del carico neve al suolo		
q _{sk} = 1,00 kN/m ² , as ≤ 200 m s.l.m.	q_{sk} =	1,54 kN/m²
q _{sk} = 0,85 [1+(as/481) ²] kN/m ² , as > 200 m s.l.m.		

Coefficiente di esposizione

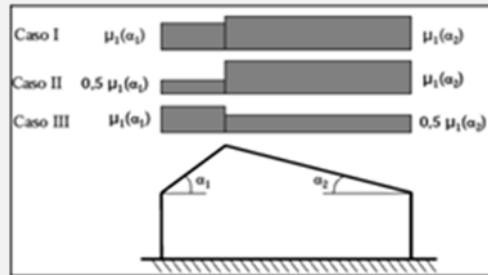
NTC 2018 §3.4.4	C_E =	1
Tab. 3.4.I		

Coefficiente Termico

NTC 2018 §3.4.5	C_t =	1
-----------------	------------------------	----------

Coefficiente di Forma

Angolo di Inclinazione della Falda	NTC 2018 §3.4.3	α	14 °
		μ₁ (α)	0,8
		0,5*μ₁ (α)	0,4



Per considerare le condizioni più gravose indotte dal carico neve sui diversi elementi strutturali, si fa riferimento ai tre casi descritti nella figura soprastante.

Carico Neve	$Q_{k_Neve} = \mu_1(\alpha) q_{sk} c_E c_t = 1,23 \text{ kN/m}^2$	Caso I – Caso II Falda II – Caso III Falda I
	$Q_{k_Neve} = 0,5 \mu_1(\alpha) q_{sk} c_E c_t = 0,62 \text{ kN/m}^2$	Caso II Falda I - Caso III Falda II



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	27 DI 225

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

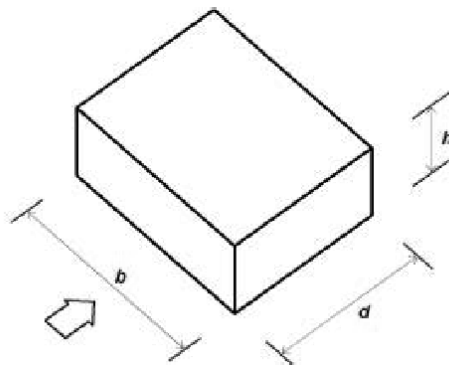
Provincia: Bergamo

Comune: Ponte San Pietro

CALCOLO AZIONE DEL VENTO - NTC §3.3					
<i>Velocità di riferimento</i>	Zona	NTC 2018	tab. 3.3.I		1
	Altitudine s.l.m.			as =	242 m
		NTC 2018	tab. 3.3.I	a0 =	1000 m
		NTC 2018	tab. 3.3.I	vb,0 =	25 m/s
		NTC 2018	tab. 3.3.I	ks =	0,4 1/s
		NTC 2018	§ 3.3.11b	ca =	1,00
	Velocità caratteristica del vento 10 m dal suolo, 10 min., cat. II, 50 anni			vb =	25 m/s
<i>Amplificazione periodo ritorno</i>	Periodo di riferimento			Tr,0 =	50 anni
	Coefficiente di ritorno	CNR207	§3.3.3	cr =	1,00
	Velocità caratteristica del vento			vb(Tr) =	25,02 m/s
	Pressione cinetica di riferimento (picco)		§3.3.6	qb(Tr) =	391,20 N/m²
<i>Coefficiente di esposizione</i>	Categoria di esposizione del sito <i>Terra oltre 30km e h<500m</i>	NTC 2018	tab. 3.3.III		II
	Classe di rugosità del terreno	NTC 2018	tab. 3.3.III		D
	Coefficiente topografico			ct =	1
		NTC 2018	tab. 3.3.II	kr =	0,19
		NTC 2018	tab. 3.3.II	z0 =	0,05 m
		NTC 2018	tab. 3.3.II	zmin =	4 m
				z	5 m
	Coefficiente di esposizione a zmin			ce(zmin) =	1,93
<i>Coefficiente di esposizione</i>	Coefficiente dinamico			cd =	1

p=	754,7	N/mq
p=	0,75	kN/mq

Per considerare le condizioni più gravose indotte dal carico vento sui diversi elementi strutturali, si fa riferimento alle configurazioni riportate nella figura seguente (Fig. C3.3.2 Circolare 21 gennaio 2019), che considerano 4 scenari a seconda che il vento spiri in direzione $\pm X$ o $\pm Y$ e per ciascuno di essi valutano le differenti combinazioni possibili di Coefficiente di forma interno e esterno su ogni facciata lambita.



Il coefficiente di pressione esterno è valutato secondo la tabella G.I della CNR-DT-207-R1 di seguito riportata, dove si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni.

Faccia sopravento	Facce laterali	Faccia sottovento
$h/d \leq 1: c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$ $h/d > 1: c_{pe} = 0,8$	$h/d \leq 0,5: c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$ $h/d > 0,5: c_{pe} = -0,9$	$h/d \leq 1: c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$ $1 < h/d \leq 5: c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

Il vento spirante in direzione Y del modello di calcolo si ha $h/d = 3.2/6 = 0.53$, pertanto si ottiene:

- Sopravento $C_{pe} = 0.7 + 0.1 \cdot 0.53 = 0.75$;
- Sottovento $C_{pe} = -0.3 - 0.2 \cdot 0.53 = -0.40$;
- Laterale $C_{pe} = -0.9$;

Il vento spirante in direzione X del modello di calcolo si ha $h/d = 3.2/33.6 = 0.1$, pertanto si ottiene:

- Sopravento $C_{pe} = 0.7 + 0.1 \cdot 0.1 = 0.71$;
- Sottovento $C_{pe} = -0.3 - 0.2 \cdot 0.1 = -0.32$;
- Laterale $C_{pe} = -0.58$;

Sia per il vento spirante in direzione principale Y che X saranno considerati i seguenti valori del coefficiente di pressione:

- Sopravento $C_{pe} = 0.8$;
- Sottovento $C_{pe} = -0.4$;
- Laterale $C_{pe} = -0.9$;



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	29 DI 225

In accordo al par. C.3.3.8.5 della circolare ministeriale del 2019 la struttura in esame ricade nella casistica 3, pertanto, il coefficiente di pressione interno è invece assunto pari a +0.2 e -0.3 considerando le combinazioni maggiormente gravose.

8.6 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 l'efficienza funzionale della struttura, è consentito tener conto, per gli edifici, della sola componente uniforme di variazione termica ΔT_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 ΔT_u può essere ricavato dalla Tabella 3.5.II della stessa norma e per costruzioni in cemento armato protette può essere assunto pari a $\pm 10^\circ\text{C}$. Per tener conto del fatto che questo fenomeno avviene in modo prolungato nel tempo e sarà quindi soggetto all'effetto della viscosità del calcestruzzo, per la valutazione delle sollecitazioni indotte sulla struttura si abbatta il modulo elastico a un terzo del valore medio.

Tuttavia, l'edificio in esame è caratterizzato da un regime di temperatura interna particolare: la maggior parte degli ambienti è infatti caratterizzata dalla presenza di apparati che da un lato sono responsabili di elevati carichi termici e dall'altro, trattandosi di macchinari a range esteso, sono in grado di operare a temperature molto elevate. Per questo, quasi tutti gli ambienti non sono dotati di impianto di condizionamento ma solo di un sistema di ventilazione forzata che garantisce il ricambio dell'aria interna.

Alla luce di queste considerazioni, viste le elevate dispersioni termiche di cui sono responsabili questi macchinari, si ipotizza che la temperatura degli ambienti interni oscilli intorno a un valore medio di 25°C , con punte massime estive di 45°C e minime invernali di 15°C . Sulla base di questa ipotesi, per l'edificio in esame la variazione stagionale di temperatura può essere considerata la seguente:

$$\text{Periodo Estivo} \quad 45^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} \quad = \quad +20^\circ\text{C}$$

$$\text{Periodo Invernale} \quad 15^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} \quad = \quad -10^\circ\text{C}$$

Questi sono i valori assunti come riferimento per la valutazione delle azioni termiche agenti sulla struttura, poiché risultano più restrittivi rispetto a quelli generali prescritti dalla norma. Anche in questo caso, trattandosi di un fenomeno lento, i suoi effetti potranno essere considerati abbattendo il modulo elastico del calcestruzzo a un terzo del valore medio.

L'effetto di queste variazioni termiche è stato valutato in un modello di analisi realizzato ad hoc e i risultati ottenuti dall'analisi della struttura soggetta alla sola azione termica sono riportati nella tabella seguente:



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	30 DI 225


$\Delta T = + 20^{\circ}C$

Travi	Nasce Sforzo Normale di Compressione, che ha un effetto benefico sugli elementi strutturali ed è pertanto trascurabile ai fini del loro dimensionamento
Pilastr	Nascono Momenti Flettenti e Sforzi di Taglio con valori massimi rispettivamente di circa 54 kNm e 30 kN. È tuttavia necessario sottolineare che, ai fini del dimensionamento degli elementi strutturali, le azioni indotte dalle variazioni termiche si combinano con le altre azioni gravanti sulla struttura solo nelle Combinazioni di Carico SLU, poiché assumono valore nullo in combinazione sismica, essendo $\psi_2(\Delta T) = 0$. Un incremento dei Momenti Flettenti e di Sforzi di Taglio agli SLU non risulta tuttavia rilevante per il dimensionamento dei pilastr, che per questo Stato Limite sono caratterizzati da rapporti D/C di circa 0,15, e per i quali la combinazione di carico dimensionante è sempre la combinazione sismica SLV, nella quale si registrano Momenti Flettenti e Sforzi di Taglio massimi e Sforzi Normali minimi.

$\Delta T = - 10^{\circ}C$

Travi	Nasce Sforzo Normale di Trazione con valori massimi di circa 30 kN. Uno sforzo Normale di questa entità richiede un incremento di armatura di circa 75 mm ² (= 30.000/391,30), corrispondenti a circa il 7% dell'area totale di armatura tesa presente nelle sezioni maggiormente sollecitate (3 ϕ 20 in appoggio nelle travi di bordo). Visto il basso incremento richiesto, si assume trascurabile l'effetto di tale azione ai fini del dimensionamento delle travi del telaio strutturale.
Pilastr	Nascono Momenti Flettenti e Sforzi di Taglio con valori massimi rispettivamente di circa 27 kNm e 15 kN. Valgono le considerazioni espone per la variazione termica $\Delta T = + 20^{\circ}C$.

Alla luce di quanto riportato nella tabella, si decide di trascurare il contributo delle variazioni termiche stagionali ai fini del dimensionamento degli elementi strutturali.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO												
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NBIR</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>FA0400 001</td> <td>A</td> <td>31 DI 225</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	31 DI 225
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	31 DI 225								

8.7 Azione Sismica

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 ⁽¹⁾	Vita Nominale V_N [Anni] ⁽¹⁾
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	≥ 100 ⁽²⁾
(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 del 22.12.2017- Tabella 2.5.1.1.1-1 Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie

L'oggetto della presente relazione rientra nell'ambito di "altre opere nuove a velocità $v < 250$ 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 i fabbricati tecnologici si fa riferimento alla *Classe IV* "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità", alla quale corrisponde un Coefficiente d'Uso C_U pari a 2.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO												
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">PROGETTO</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NBIR</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">D 26 CL</td> <td style="text-align: center;">FA0400 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">32 DI 225</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	32 DI 225
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	32 DI 225								

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 di riferimento per il fabbricato, che prescrive l'assunzione di una Categoria di Sottosuolo B e una Categoria Topografica T₁.

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

Secondo quanto riportato al § 7.3.1 delle NTC 2018, nel caso di comportamento strutturale dissipativo (§ 7.2.2), il valore del fattore di comportamento q, da utilizzare per lo stato limite considerato e nella direzione considerata per l'azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e tiene conto, convenzionalmente, delle capacità dissipative del materiale. Il limite superiore q_{lim} del fattore di comportamento relativo allo SLV è calcolato tramite la seguente espressione:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R$$

dove:

K_R = fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

q_0 = valore base del fattore di comportamento allo SLV, i cui massimi valori sono riportati in tabella 7.3.II in dipendenza della Classe di Duttilità, della tipologia strutturale, del coefficiente λ di cui al § 7.9.2.1 e del rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la plasticizzazione in un numero di zone dissipative tale da rendere la struttura un meccanismo e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione.

I valori di q_0 da assumere per le strutture in cemento armato, al variare delle tipologie strutturali e della Classe di Duttilità scelta, sono riassunti nella Tabella 7.3.II, di seguito riportata.

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Tipologia strutturale	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	4,5 α_u/α_1	3,0 α_u/α_1
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	4,0 α_u/α_1	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5

Figura 8.4 – NTC 2018, Valori di q_0 per strutture in cemento armato

Assumendo che la struttura si trovi in Classe di Duttilità Bassa ("CDB"), per le strutture intelaiate monopiano si ha $q_0 = 2,5$.

Per le costruzioni in cemento armato regolari in pianta, qualora non si proceda a un'analisi non lineare finalizzata alla sua valutazione, per il rapporto α_u/α_1 , possono essere adottati i valori indicati al paragrafo 7.4.3.2 delle NTC 2018. In particolare, il valore del rapporto α_u/α_1 dipende dalla tipologia strutturale. La struttura in esame rientra nella tipologia strutturale "Strutture a telaio", nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale.

Dunque, per determinare il valore del rapporto α_u/α_1 si assume che la struttura in oggetto ricada nel punto a) descritto dalla normativa al § 7.4.3.2 "Strutture a telaio o miste equivalenti a telai"; in particolare, per strutture a telaio di un piano la norma prescrive un valore di α_u/α_1 pari a 1,1.

In definitiva, il valore massimo attribuibile al fattore q , assumendo la struttura regolare in altezza e quindi $K_R = 1$, sarà pari a

$$q = q_0 \cdot K_R = 2,5.$$

Per il caso in esame si decide tuttavia di assumere cautelativamente $q_{SLV} = 2$. Per lo Stato Limite di Danno, in conformità con quanto prescritto in Tab. 7.3.1 NTC2018, si assume $q_{SLD} = 1,5$.



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	34 DI 225

Si riportano dunque di seguito gli spettri di risposta elastici per ciascuno Stato Limite considerati (SLO, SLD e SLV).

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 9.58341 LATITUDINE: 45.69913

Ricerca per comune

REGIONE: Lombardia PROVINCIA: Bergamo COMUNE: Ponte San Pietro

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	35 DI 225

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info
Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

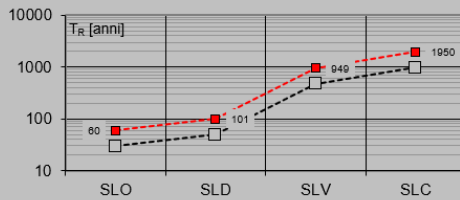
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="60"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
 Stato Limite considerato **SLO** info

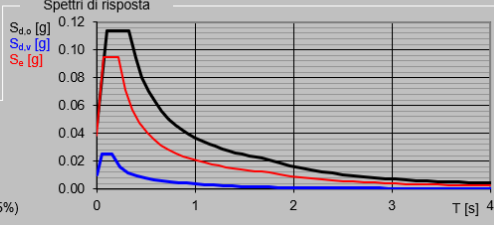
Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **B** info $S_s = 1.200$ $C_c = 1.493$ info
 Categoria topografica **T1** info $h/H = 1.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s **1** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q **1** $\eta = 1.000$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLO
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0.038 g
F_v	2.493
T_v	0.217 s
S_s	1.200
C_c	1.493
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.108 s
T_C	0.324 s
T_D	1.752 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

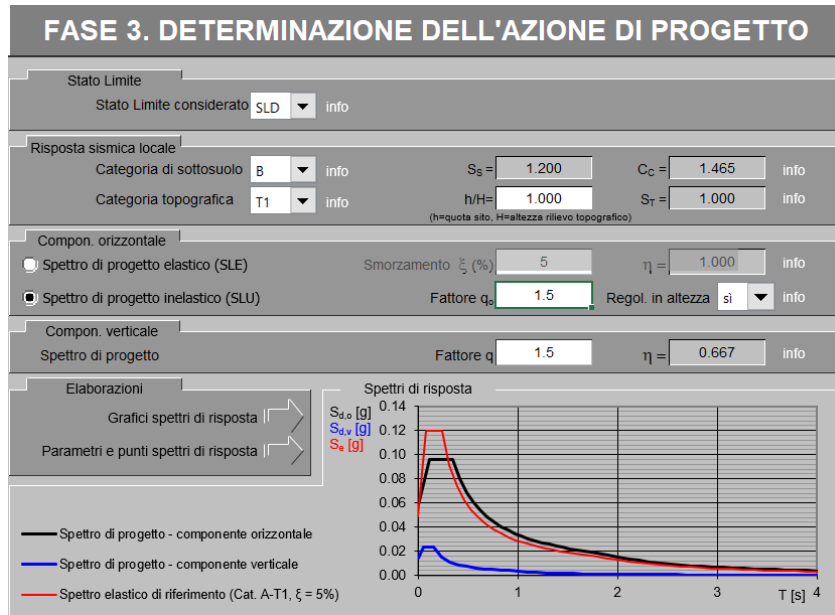
Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0.000	0.046
0.108	0.114
0.324	0.114
0.392	0.094
0.480	0.080
0.528	0.070
0.596	0.062
0.664	0.056
0.732	0.050
0.800	0.046
0.888	0.043
0.936	0.039
1.004	0.037
1.072	0.034
1.140	0.032
1.208	0.031
1.276	0.029
1.344	0.027
1.412	0.026
1.480	0.025
1.548	0.024
1.616	0.023
1.684	0.022
1.752	0.021
1.859	0.019
1.966	0.017
2.073	0.015
2.180	0.014
2.287	0.012
2.394	0.011
2.502	0.010
2.609	0.010
2.716	0.009
2.823	0.008
2.930	0.008
3.037	0.007
3.144	0.007
3.251	0.006
3.358	0.006
3.465	0.005
3.572	0.005
3.679	0.005
3.786	0.005
3.893	0.004
4.000	0.004

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	37 DI 225

Figura 8.5 - Spettro di Risposta allo SLO



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

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.049 g
F_0	2.455
T_c	0.239 s
S_g	1.200
C_c	1.465
S_T	1.000
q	1.500

Parametri dipendenti

S	1.200
η	0.667
T_B	0.116 s
T_c	0.349 s
T_D	1.795 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.059
0.116	0.096
0.349	0.096
0.418	0.080
0.487	0.069
0.556	0.060
0.625	0.054
0.694	0.048
0.763	0.044
0.831	0.040
0.900	0.037
0.969	0.035
1.038	0.032
1.107	0.030
1.176	0.029
1.245	0.027
1.313	0.026
1.382	0.024
1.451	0.023
1.520	0.022
1.589	0.021
1.658	0.020
1.727	0.019
1.795	0.019
1.900	0.017
2.005	0.015
2.110	0.014
2.215	0.012
2.320	0.011
2.425	0.010
2.530	0.009
2.635	0.009
2.740	0.008
2.845	0.007
2.950	0.007
3.055	0.006
3.160	0.006
3.265	0.006
3.370	0.005
3.475	0.005
3.580	0.005
3.685	0.004
3.790	0.004
3.895	0.004
4.000	0.004

Figura 8.6 - Spettro di Risposta allo SLD

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLV** info

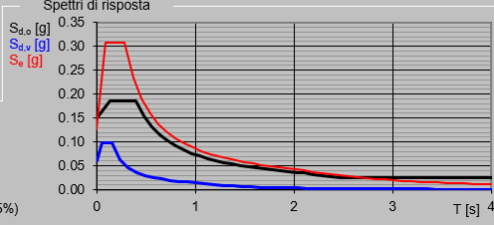
Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo **B** info $S_s = 1.200$ $C_c = 1.419$ info
Categoria topografica **T1** info $h/H = 1.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s **2** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale
Spettro di progetto Fattore q **1.5** $\eta = 0.667$ info

Elaborazioni
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_y	0.126 [g]
F_v	2.452
T_c	0.280 [s]
S_s	1.200
C_c	1.419
S_T	1.000
q	2.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	0.500
T_B	0.132 [s]
T_C	0.397 [s]
T_D	2.103 [s]

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = \sqrt{1.0 / (5 + \xi)} \geq 0.55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

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

$$T_D = 4 \cdot 0.1 \cdot a_y / \xi + 1.6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

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

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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0.000	0.151
0.132	0.185
0.397	0.185
0.479	0.154
0.560	0.131
0.641	0.115
0.722	0.102
0.803	0.091
0.885	0.083
0.966	0.076
1.047	0.070
1.128	0.065
1.209	0.061
1.291	0.057
1.372	0.054
1.453	0.051
1.534	0.048
1.615	0.045
1.697	0.043
1.778	0.041
1.859	0.040
1.940	0.038
2.022	0.036
2.103	0.035
2.193	0.032
2.283	0.030
2.374	0.027
2.464	0.025
2.554	0.025
2.645	0.025
2.735	0.025
2.826	0.025
2.916	0.025
3.008	0.025
3.097	0.025
3.187	0.025
3.277	0.025
3.368	0.025
3.458	0.025
3.548	0.025
3.639	0.025
3.729	0.025
3.819	0.025
3.910	0.025
4.000	0.025


	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO												
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE	<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>FA0400 001</td> <td>A</td> <td>40 DI 225</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	40 DI 225
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	40 DI 225								

Figura 8.7 – Spettro di Risposta 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.

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}	Q _{SIAP}	Q _{ACC}	Q _{Batterie}	Q _{Trasformatori}	Q _{TLC}	Q _{Cabina MT_BT}	Q _{UM}	Q _{WC}
Ψ ₀	0,00	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ψ ₁	0,00	0,20	0,20	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Ψ ₂	0,00	0,00	0,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

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 γ_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 γ_F	A1 STR	A2 GEO
Carichi Permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,30	1,00
Carichi Permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,30
Carichi Variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,30

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

TABELLA COMBINAZIONI DI CARICO PER MODELLO STRUTTURA IN ELEVAZIONE

	G ₁	G ₂	Q _{K_E}	Q _{K_H}	Q _{K_Neve}	Q _{K_Vento}	SLV_X	SLV_Y	SLD_X	SLD_Y	SLO_X	SLO_Y		
SLU_1	1,30	1,50	1,50	0,00	0,75	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLU_2	1,30	1,50	1,50	1,50	0,75	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLU_3	1,30	1,50	1,50	0,00	1,50	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLU_4	1,30	1,50	1,50	0,00	0,75	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLE_rara_1	1,00	1,00	1,00	0,00	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLE_rara_2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLE_rara_3	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLE_rara_4	1,00	1,00	1,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLE_freq_1	1,00	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLE_freq_2	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLE_freq_3	1,00	1,00	0,80	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLE_freq_4	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLE_qp	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SLV_1	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Sisma SLV Direz X</i>
SLV_2	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Sisma SLV Direz Y</i>
SLD_1	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,30	0,00	0,00	0,00	<i>Sisma SLD Direz X</i>
SLD_2	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00	0,00	0,00	0,00	<i>Sisma SLD Direz Y</i>
SLO_1	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,30	0,00	<i>Sisma SLO Direz X</i>
SLO_2	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00	0,00	<i>Sisma SLO Direz Y</i>



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 43 DI 225

TABELLA COMBINAZIONI DI CARICO PER MODELLO STRUTTURA DI FONDAZIONE

	G ₁	G ₂	Q _{K,E}	Q _{K,H}	Q _{K,Neve}	Q _{K,Vento}	G _{2_fond}	Q _{K_fond}	SLV_X	SLV_Y	SLD_X	SLD_Y	SLO_X	SLO_Y	
SLU_1_fond_A1	1,30	1,50	1,50	0,00	0,75	0,90	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLU_2_fond_A1	1,30	1,50	1,50	1,50	0,75	0,90	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLU_3_fond_A1	1,30	1,50	1,50	0,00	1,50	0,90	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLU_4_fond_A1	1,30	1,50	1,50	0,00	0,75	1,50	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLU_1_fond_A2	1,00	1,30	1,30	0,00	0,65	0,78	1,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLU_2_fond_A2	1,00	1,30	1,30	1,30	0,65	0,78	1,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLU_3_fond_A2	1,00	1,30	1,30	0,00	1,30	0,78	1,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLU_4_fond_A2	1,00	1,30	1,30	0,00	0,65	1,30	1,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLE_rara_1_fond	1,00	1,00	1,00	0,00	0,50	0,60	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLE_rara_2_fond	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLE_rara_3_fond	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,60	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLE_rara_4_fond	1,00	1,00	1,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLE_freq_1_fond	1,00	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>E Principale</i>
SLE_freq_2_fond	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>H Principale</i>
SLE_freq_3_fond	1,00	1,00	0,80	0,00	0,20	0,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Neve Principale</i>
SLE_freq_4_fond	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,20	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<i>Vento Principale</i>
SLE_qp_fond	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SLV_1_fond	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	0,80	1,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	Sisma SLV Direz X
SLV_2_fond	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	0,80	0,30	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sisma SLV Direz Y

Dove i simboli riportati nella tabella precedente hanno il seguente significato:

$$G2_{fond} = G2_{muri} + G2_{vespaio H2} + G2_{vespaio H3} + G2_{vespaio H7}$$

$$Q_{fond} = Q_{Trasformatori} + Q_{Cabina MT/BT} + Q_{Batterie} + Q_{SLAP} + Q_{ACC} + Q_{TLC} + Q_{UM} + Q_{WC}$$

10 SOLLECITAZIONI

Secondo quanto riportato dalle NTC 2018 al § 7.3.6, per le costruzioni di Classe d'Uso IV, 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.

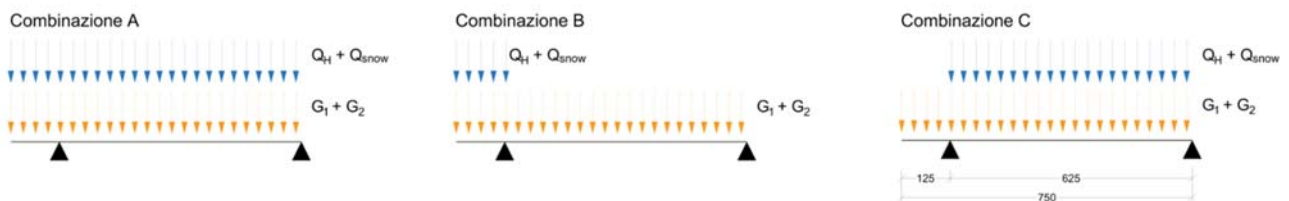
Dal momento che, a parità di valore assunto per il fattore di comportamento q , l'azione sismica valutata per la località di Arquata Scrivia allo Stato Limite di Danno è di entità inferiore rispetto a quella considerata per le verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, gli elementi 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.

10.1 Solaio di Copertura

Per il calcolo delle sollecitazioni caratterizzanti il solaio di copertura, ordito parallelamente alla pendenza delle falde, si assume uno schema statico di trave doppiamente appoggiata con sbalzo pari all'aggetto della copertura stessa.

Per questo schema di calcolo si considerano le 3 diverse configurazioni di carico rappresentate nella figura seguente. Si precisa che le espressioni " $G_1 + G_2$ " e " $Q_H + Q_{snow}$ " sono da intendersi in senso generico e che per ciascuna delle combinazioni considerate (vedi § 9) verranno applicati i coefficienti γ e ψ richiesti dalla normativa.

• SOLAIO COPERTURA - H 16 cm (4+12)



Si riportano nella seguente tabella i valori massimi delle sollecitazioni nelle diverse combinazioni di carico considerate per il solaio di copertura.

Solaio Copertura

	M_{MAX} Campata [kNm]	M_{MAX} Appoggio [kNm]	V_{max} [kN]
SLU	3,08	1,06	4,97
SLE_rara	2,19	0,75	
SLE_frequente	1,68	0,60	
SLE_quasi permanente	1,53	0,55	

10.2 Telaio Filo Fisso 1

Di seguito si riportano alcune immagini che illustrano la distribuzione delle sollecitazioni negli elementi del telaio corrispondente al filo fisso 1 per le diverse combinazioni di carico considerate.

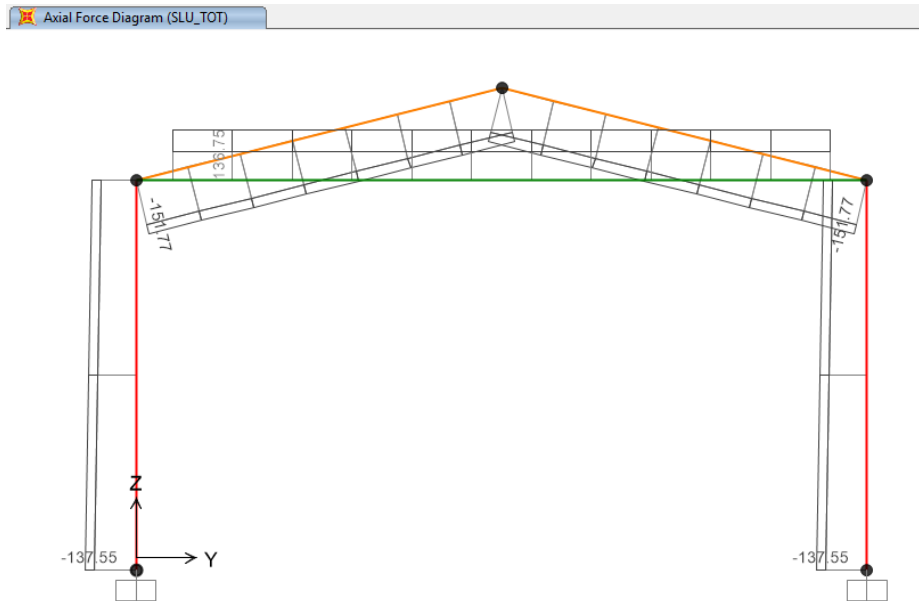


Figura 10.1 – Combinazione SLU – Valori di Sforzo Normale

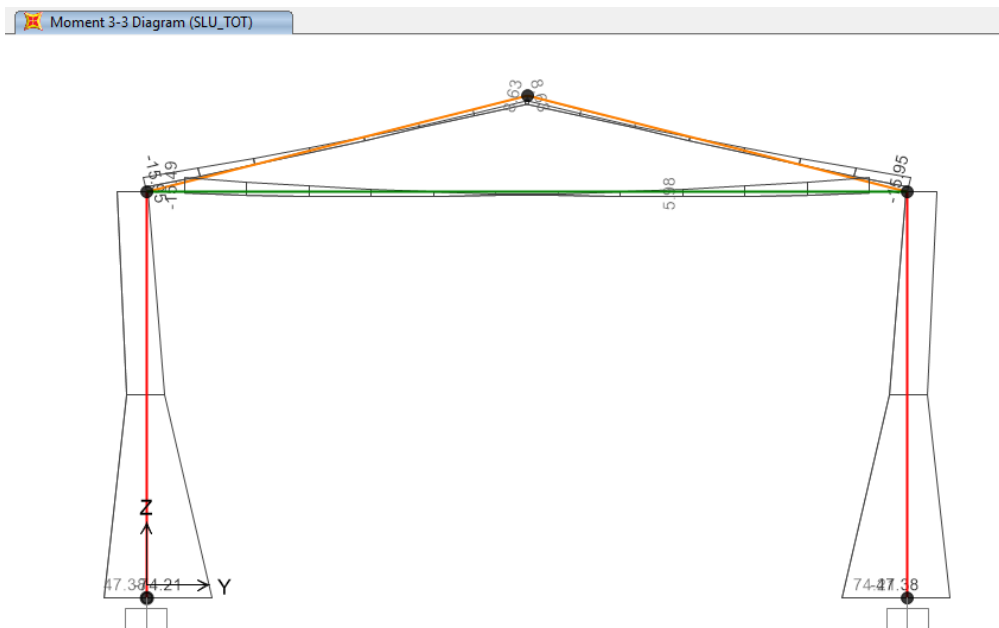


Figura 10.2 - Combinazione SLU – Valori di Momento Flettente M33

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	46 DI 225

Shear Force 2-2 Diagram (SLU_TOT)

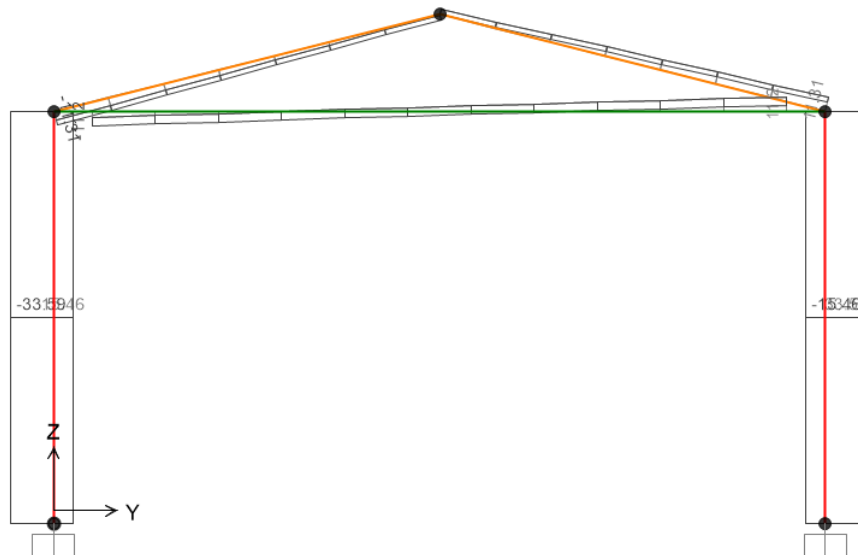


Figura 10.3 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo di Taglio V2

Axial Force Diagram (SLV_TOT)

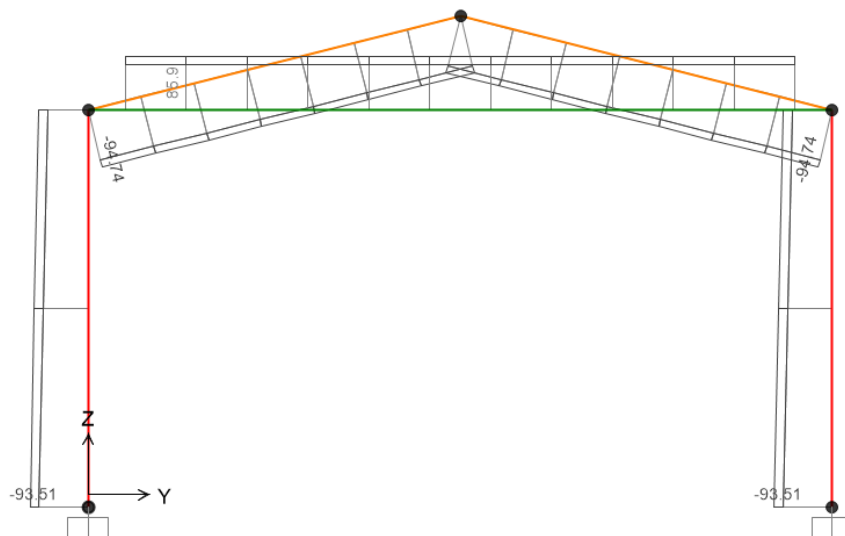


Figura 10.4 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo Normale

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	47 DI 225

Moment 3-3 Diagram (SLV_TOT)

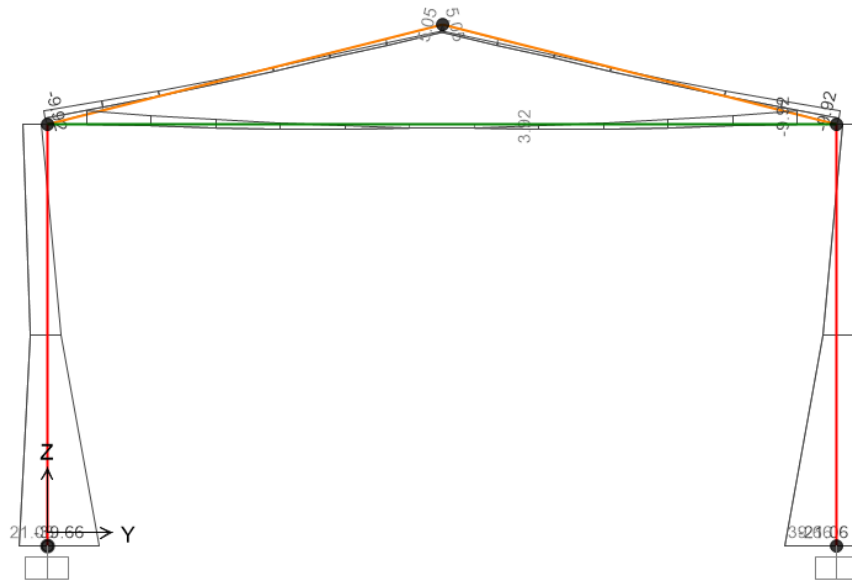


Figura 10.5 - Combinazione SLV – Valori di Momento Flettente M33

Shear Force 2-2 Diagram (SLV_TOT)

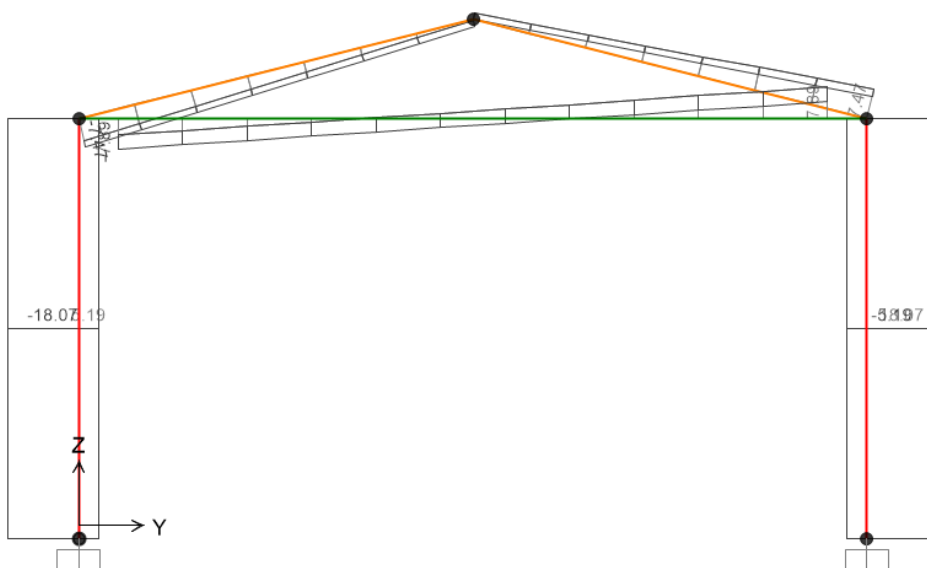


Figura 10.6 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo di Taglio V2

Axial Force Diagram (SLE_r_TOT)

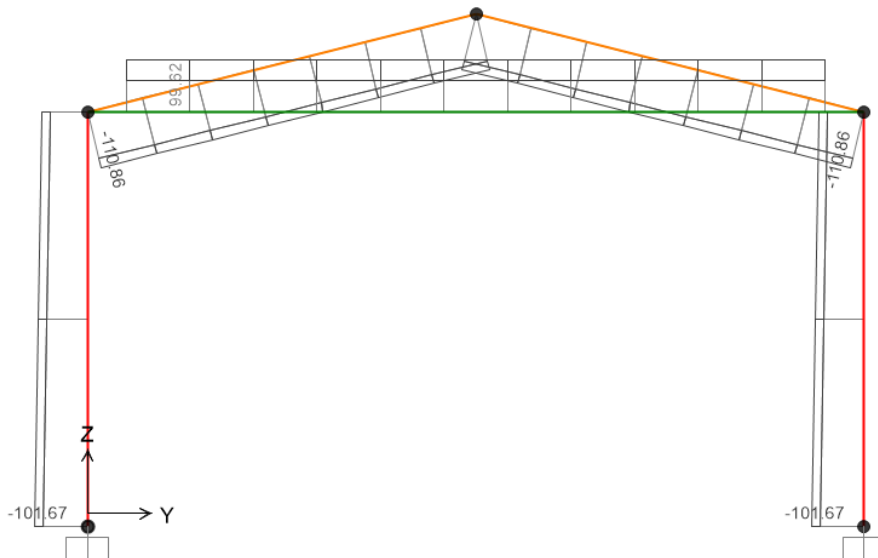


Figura 10.7 - Combinazione SLE rara – Valori di Sforzo Normale

Moment 3-3 Diagram (SLE_r_TOT)

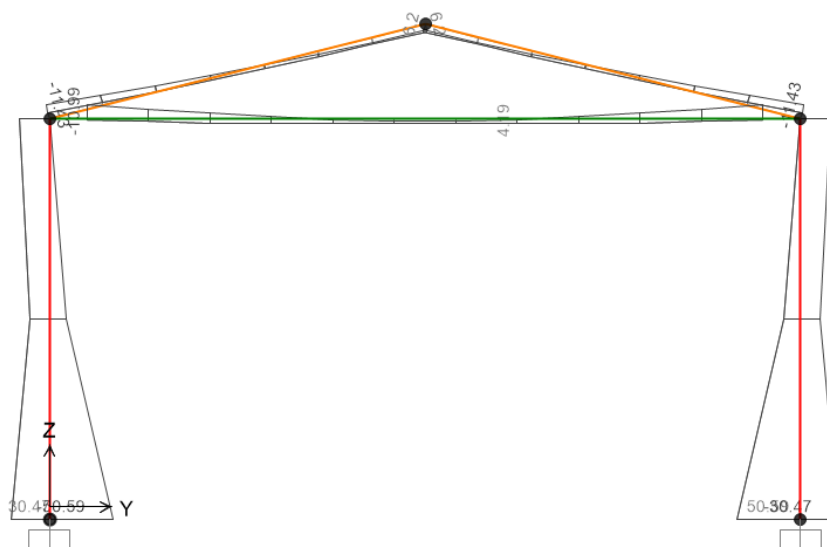


Figura 10.8 - Combinazione SLE rara – Valori di Momento Flettente M33

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	49 DI 225

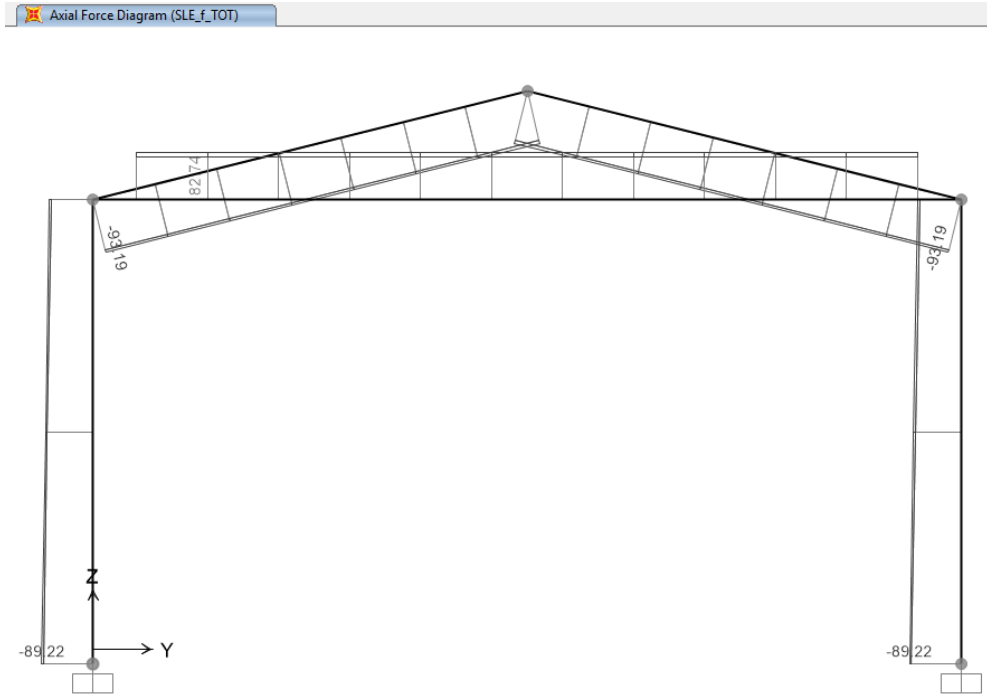


Figura 10.9 - Combinazione SLE frequente – Valori di Sforzo Normale

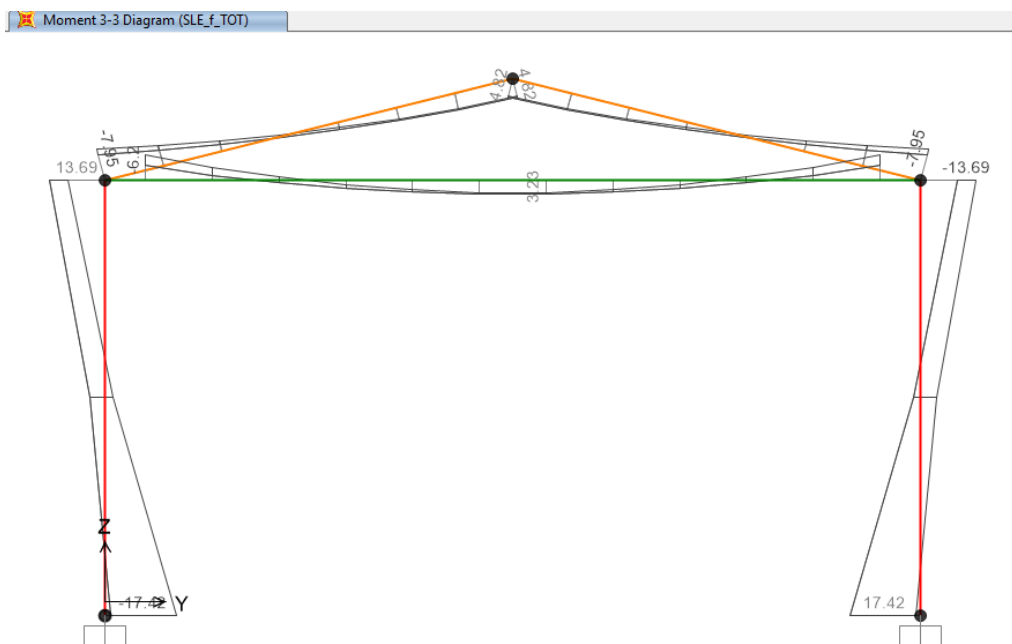


Figura 10.10 - Combinazione SLE frequente – Valori di Momento Flettente M33

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	50 DI 225

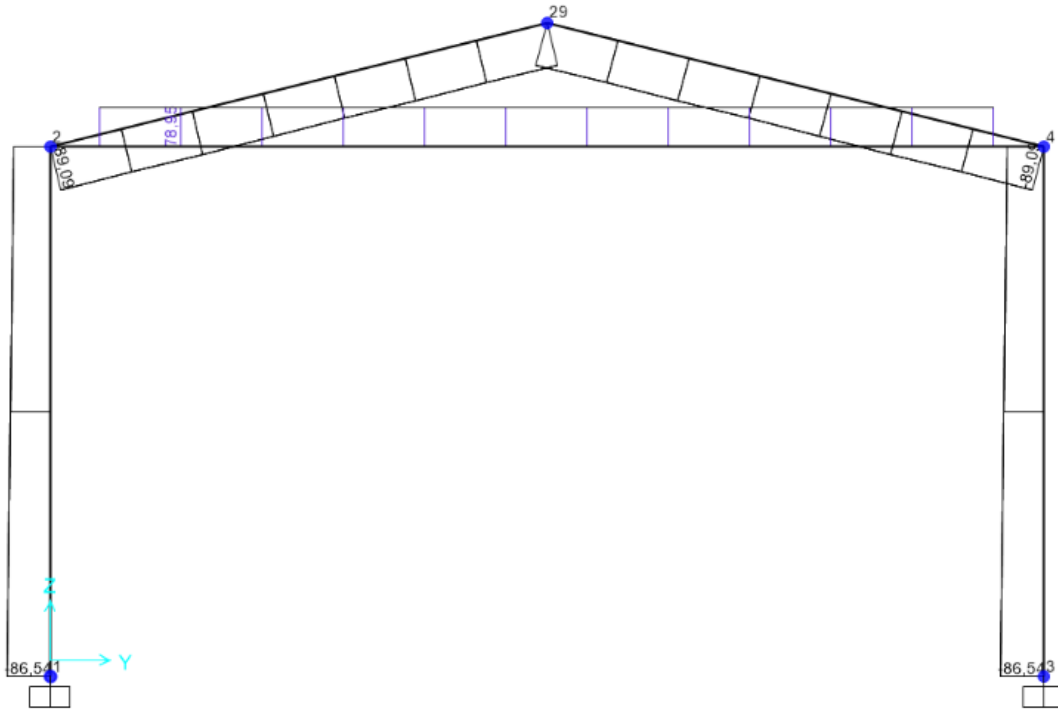


Figura 10.11 - Combinazione SLE quasi permanente – Valori di Sforzo Normale

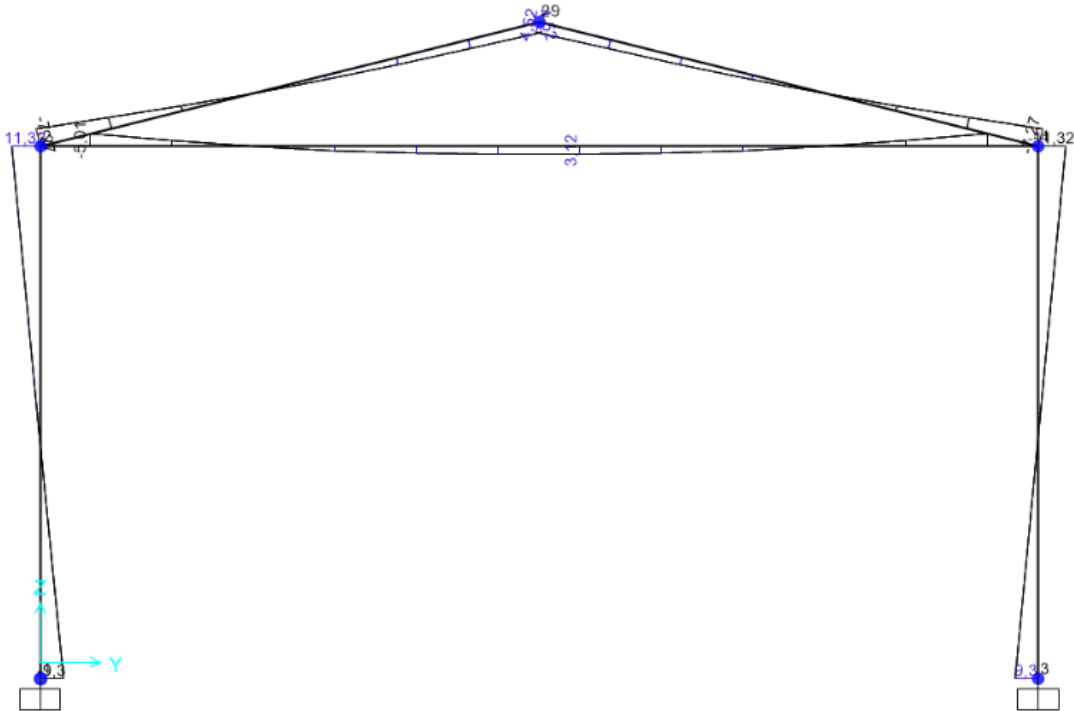


Figura 10.12 - Combinazione SLE quasi permanente – Valori di Momento Flettente M33

10.3 Telaio Fisso B

Di seguito si riportano alcune immagini che illustrano la distribuzione delle sollecitazioni negli elementi del telaio corrispondente al filo fisso B per le diverse combinazioni di carico considerate.

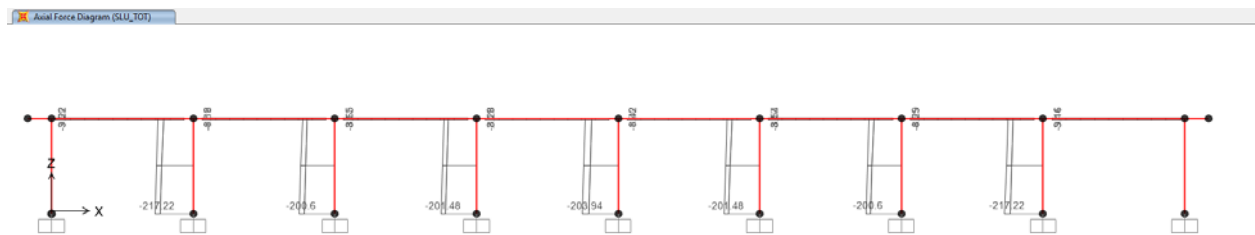


Figura 10.13 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo Normale N

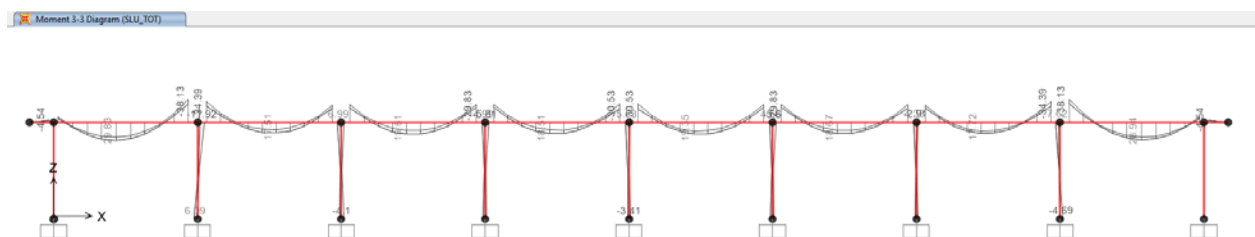


Figura 10.14 - Combinazione SLU – Valori di Momento Flettente M33

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0400 001	A	52 DI 225

Shear Force 2-2 Diagram (SLU_TOT)

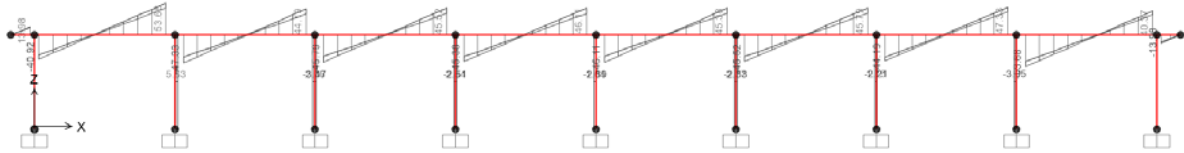


Figura 10.15 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo di Taglio V22

Anal Force Diagram (SLV_TOT)

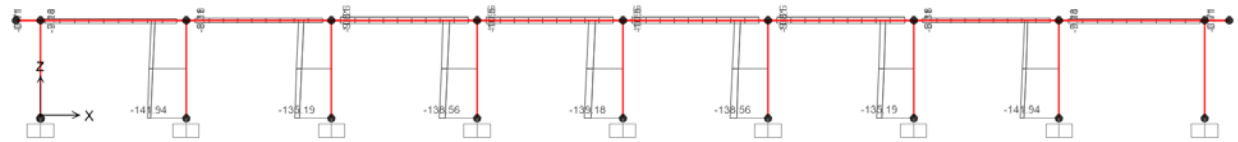


Figura 10.16 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo Normale N

Moment 3-3 Diagram (SLV_TOT)

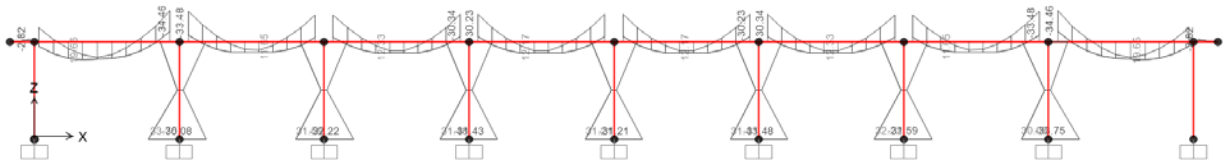


Figura 10.17 - Combinazione SLV – Valori di Momento Flettente M33

Shear Force 2-2 Diagram (SLV_TOT)

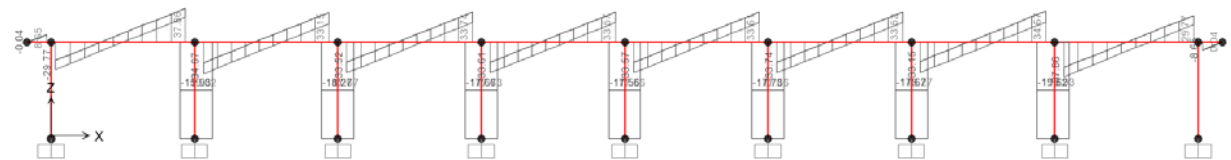


Figura 10.18 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo di Taglio V22

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	53 DI 225

Axial Force Diagram (SLE_f_TOT)

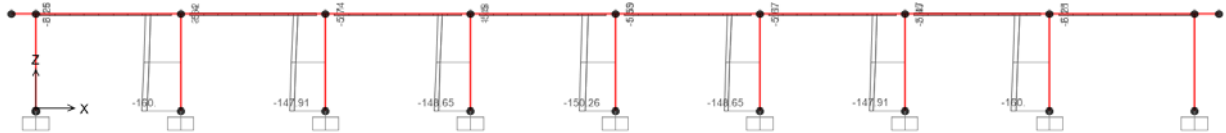


Figura 10.19 - Combinazione SLE rara – Valori di Sforzo Normale N

Moment 3-3 Diagram (SLE_m_TOT)

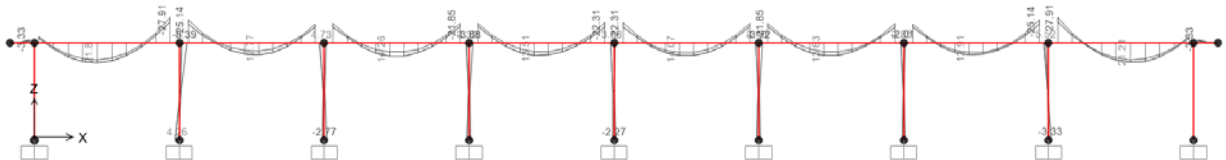


Figura 10.20 - Combinazione SLE rara – Valori di Momento Flettente M33

Axial Force Diagram (SLE_f_TOT)

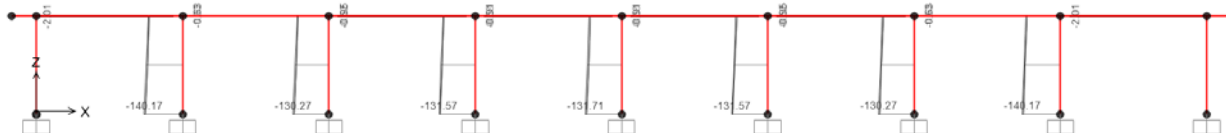


Figura 10.21 - Combinazione SLE frequente – Valori di Sforzo Normale N

Moment 3-3 Diagram (SLE_m_TOT)

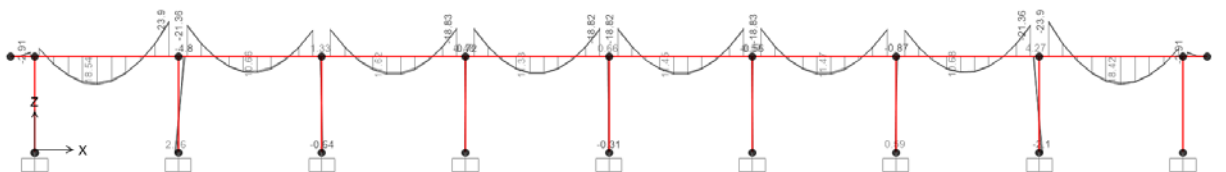


Figura 10.22 - Combinazione SLE frequente – Valori di Momento Flettente M33

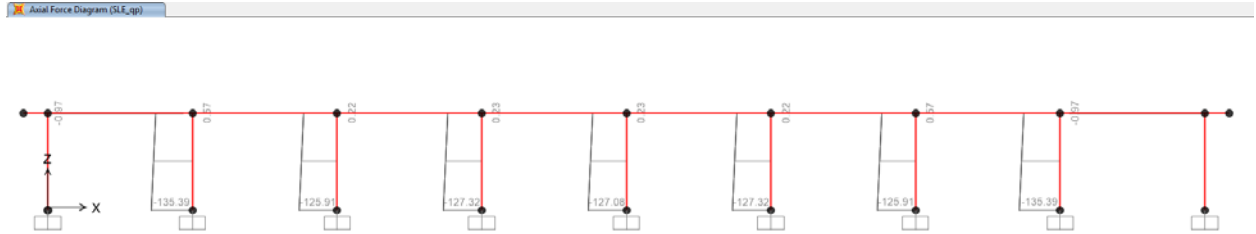


Figura 10.23 - Combinazione SLE quasi permanente – Valori di Sforzo Normale N

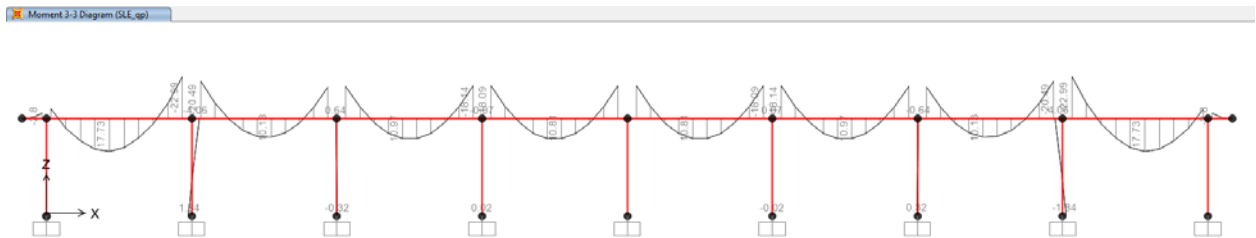


Figura 10.24 - Combinazione SLE quasi permanente – Valori di Momento Flettente M33

10.4 Trave di Colmo

Di seguito si riportano alcune immagini che illustrano la distribuzione delle sollecitazioni nella trave di colmo per le diverse combinazioni di carico considerate.

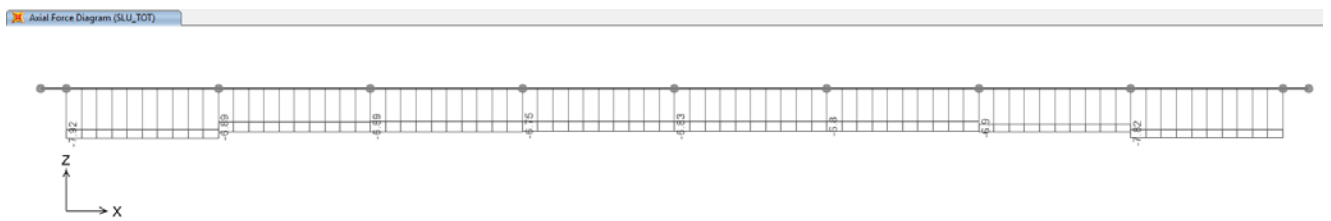


Figura 10.25 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo Normale N

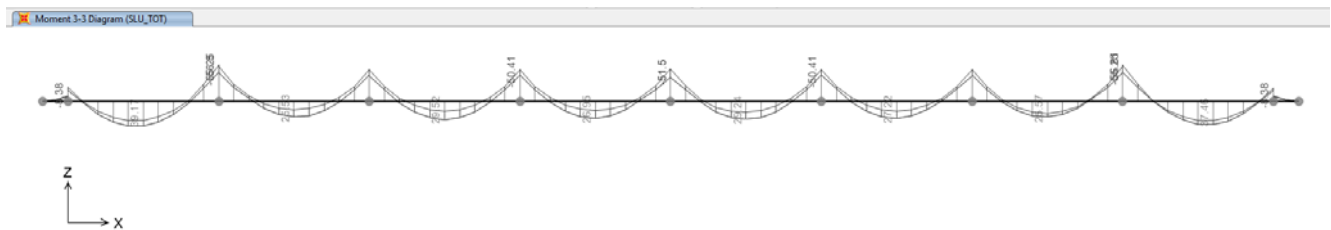


Figura 10.26 - Combinazione SLU – Valori di Momento Flettente M33

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA04000 001	A	55 DI 225

Shear Force 2-2 Diagram (SLU_TOT)

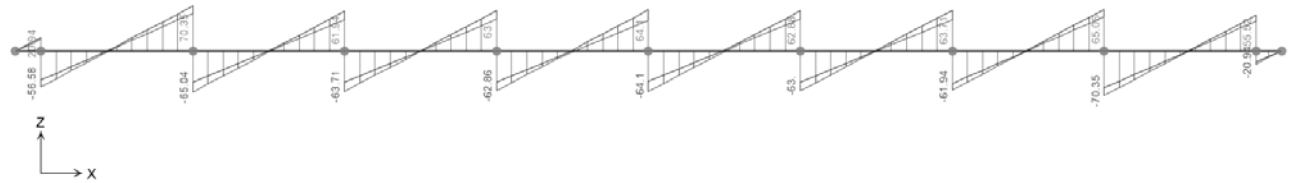


Figura 10.27 - Combinazione SLU – Valori di Sforzo di Taglio V22

Axial Force Diagram (SLV_TOT)

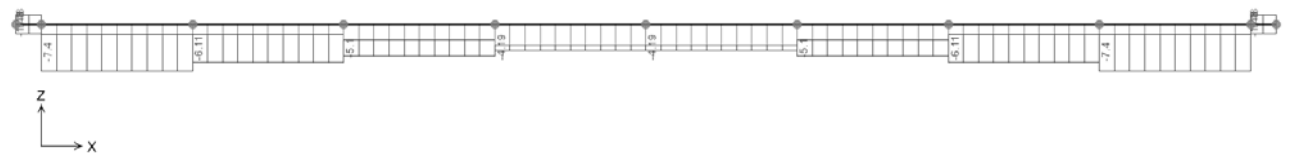


Figura 10.28 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo Normale N

Moment 3-3 Diagram (SLV_TOT)



Figura 10.29 - Combinazione SLV – Valori di Momento Flettente M33

Shear Force 2-2 Diagram (SLV_TOT)

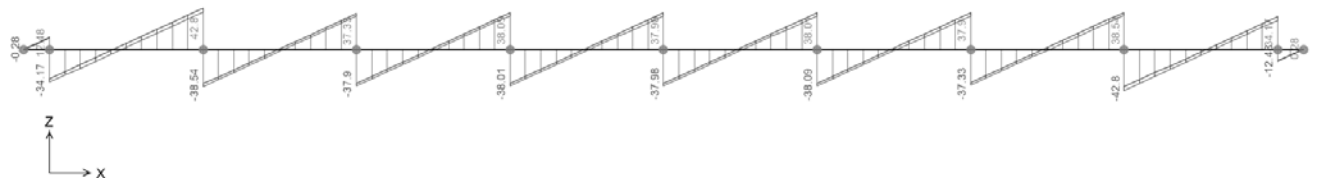


Figura 10.30 - Combinazione SLV – Valori di Sforzo di Taglio V22

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	56 DI 225

Axial Force Diagram (SLE_r_TOT)

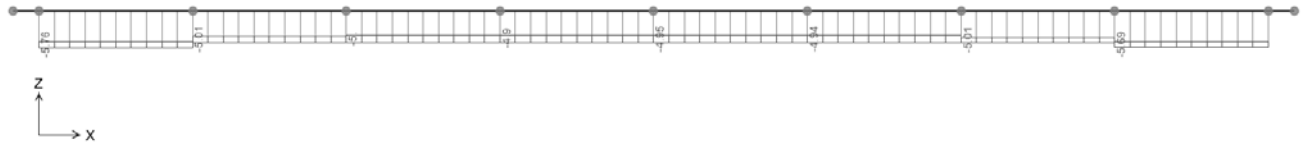


Figura 10.31 - Combinazione SLE rara – Valori di Sforzo Normale N

Moment 3-3 Diagram (SLE_r_TOT)

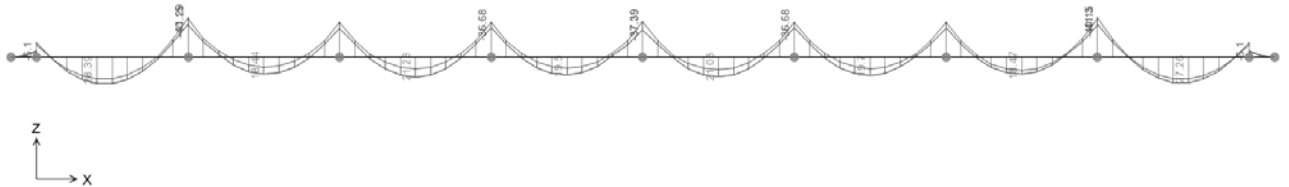


Figura 10.32 - Combinazione SLE rara – Valori di Momento Flettente M33

Axial Force Diagram (SLE_f_TOT)

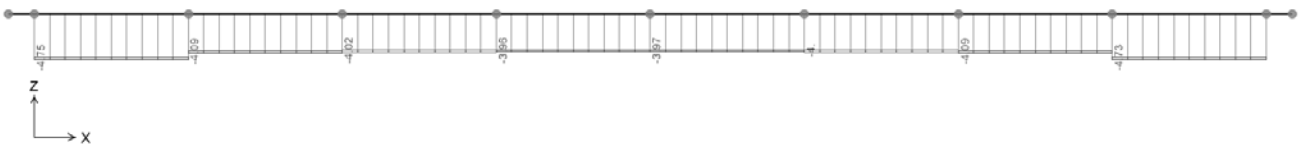


Figura 10.33 - Combinazione SLE frequente – Valori di Sforzo Normale N

Moment 3-3 Diagram (SLE_f_TOT)



Figura 10.34 - Combinazione SLE frequente – Valori di Momento Flettente M33

10.5 Platea di Fondazione

Si riportano di seguito le immagini che illustrano la distribuzione dei momenti flettenti negli elementi tipo *shell* costituenti la platea per le combinazioni di carico agli SLU e SLV.

PLATEA					
M11 max	SLU_TOT_fond_A1	60 kNm/m	M11 min	SLU_TOT_fond_A1	-20 kNm/m
	SLV_TOT_fond	50 kNm/m		SLV_TOT_fond	-55 kNm/m
M22 max	SLU_TOT_fond_A1	40 kNm/m	M22 min	SLU_TOT_fond_A1	-85 kNm/m
	SLV_TOT_fond	40 kNm/m		SLV_TOT_fond	-65 kNm/m
V13 max	SLU_TOT_fond_A1	85 kN/m	V13 min	SLU_TOT_fond_A1	-80 kN/m
	SLV_TOT_fond	65 kN/m		SLV_TOT_fond	-60 kN/m
V23 max	SLU_TOT_fond_A1	92 kN/m	V23 min	SLU_TOT_fond_A1	-92 kN/m
	SLV_TOT_fond	75 kN/m		SLV_TOT_fond	-70 kN/m
M11 max	SLE_r_TOT_fond	45 kNm/m	M11 min	SLE_r_TOT_fond	-25 kNm/m
	SLE_f_TOT_fond	35 kNm/m		SLE_f_TOT_fond	-25 kNm/m
	SLE_qp_TOT_fond	30 kNm/m		SLE_qp_TOT_fond	-20 kNm/m
M22 max	SLE_r_TOT_fond	30 kNm/m		SLE_r_TOT_fond	-60 kNm/m
	SLE_f_TOT_fond	20 kNm/m	M22 min	SLE_f_TOT_fond	-55 kNm/m
	SLE_qp_TOT_fond	15 kNm/m		SLE_qp_TOT_fond	-52 kNm/m

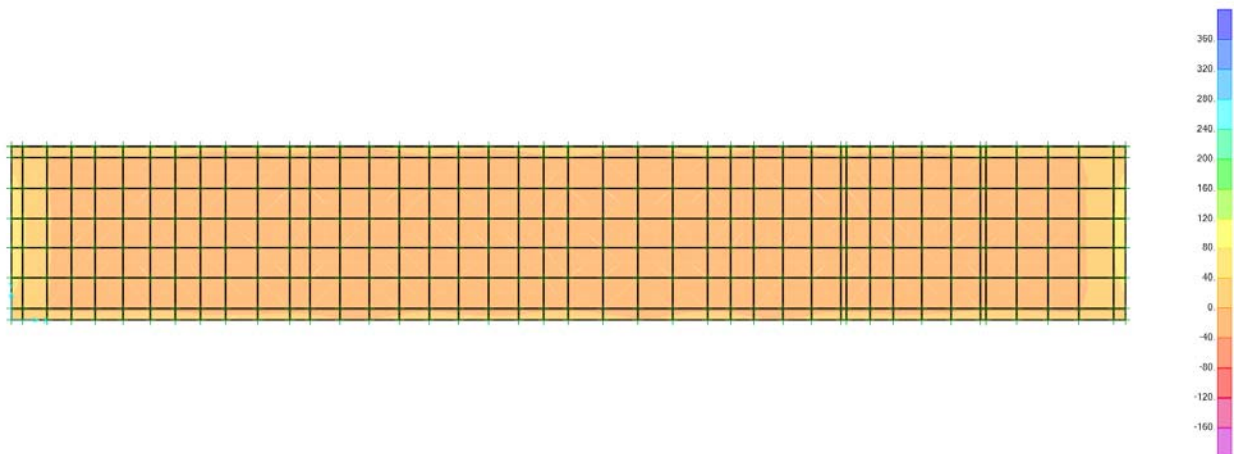


Figura 10.37 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M11 - Combinazione SLU_TOT_fond_A1

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	59 DI 225

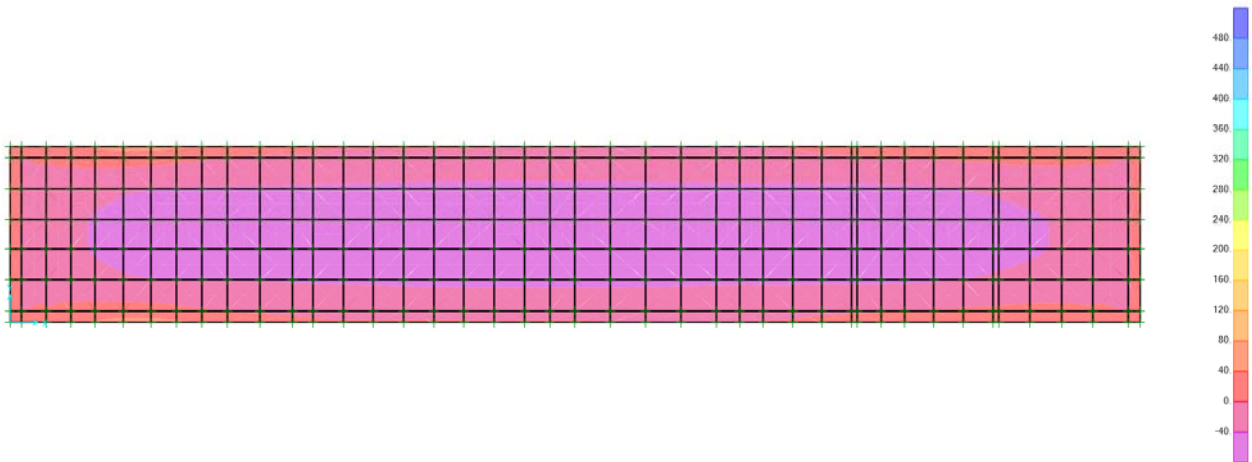


Figura 10.38 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M22 - Combinazione SLU_TOT_fond_A1

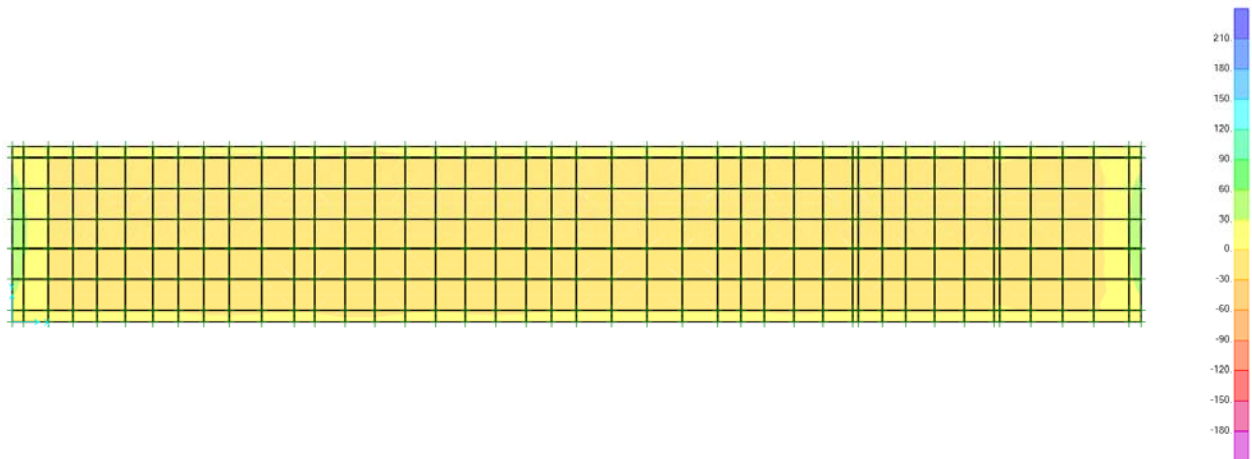


Figura 10.39 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M11 - Combinazione SLV_TOT_fond

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	60 DI 225

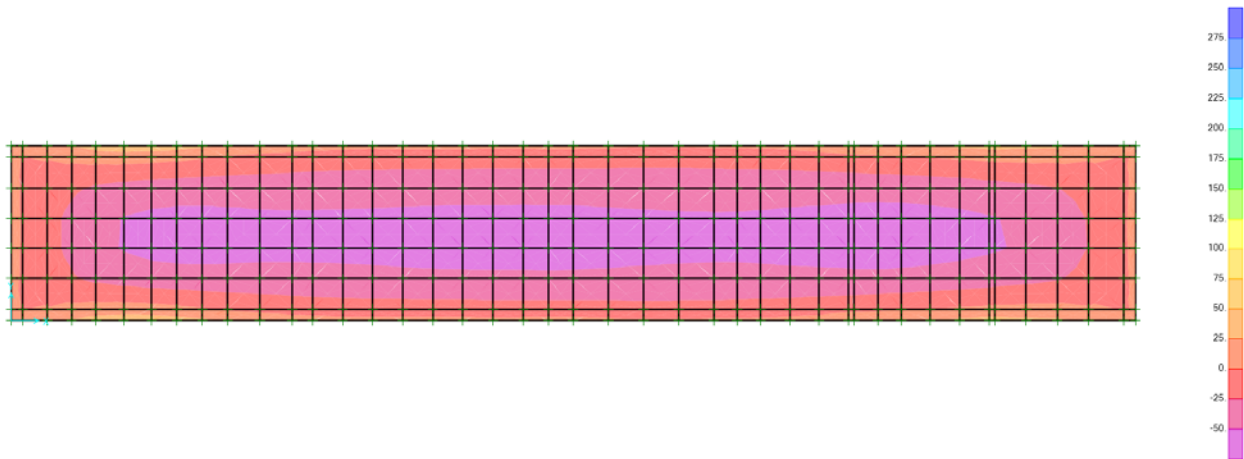


Figura 10.40 – Distribuzione dei Momenti Flettenti M22 - Combinazione SLV_TOT_fond

Resultant V13 Diagram (SLU_TOT_FOND - Max)

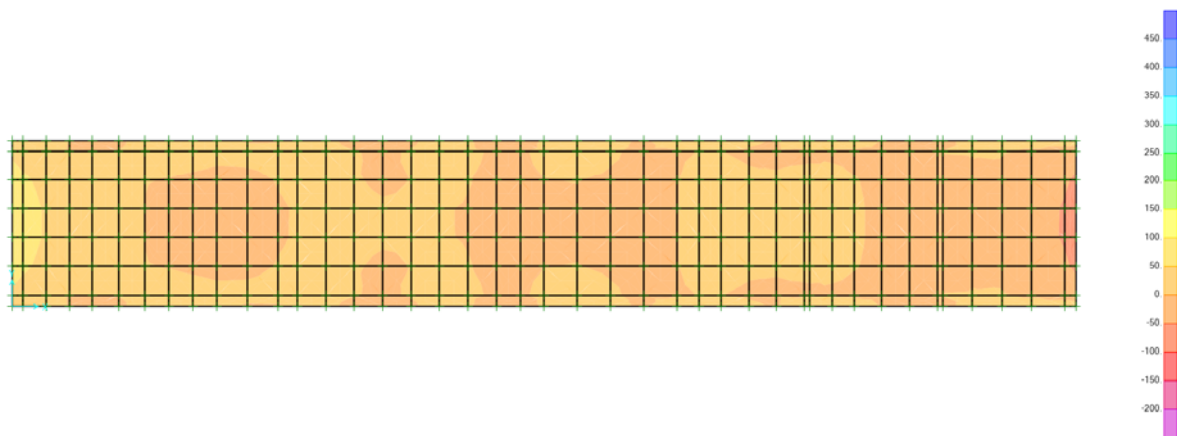


Figura 10.41 – Distribuzione dei Taglio V13 - Combinazione SLU_TOT_fond_A1

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	61 DI 225

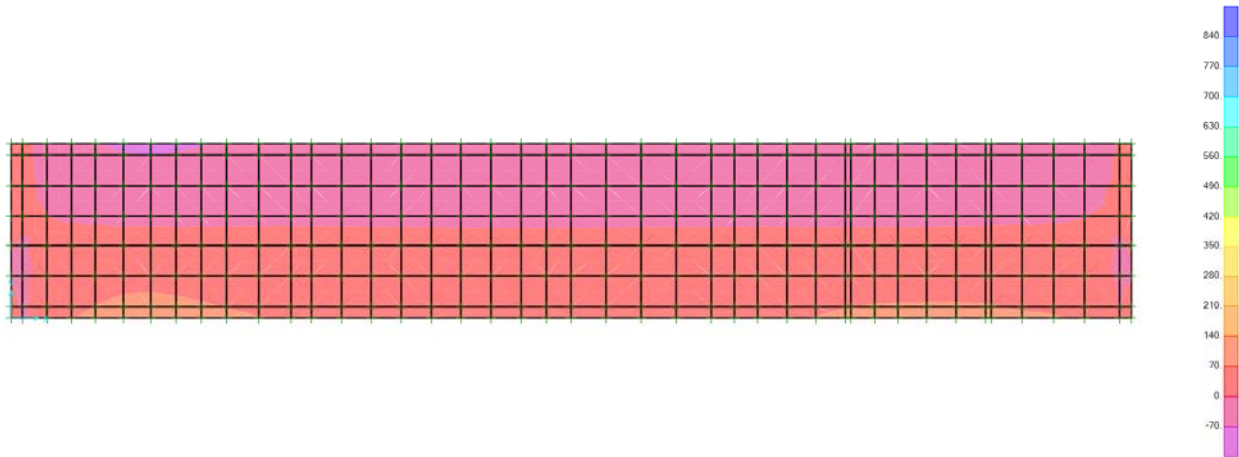


Figura 10.42 – Distribuzione dei Taglio V23 - Combinazione SLU_TOT_fond_A1

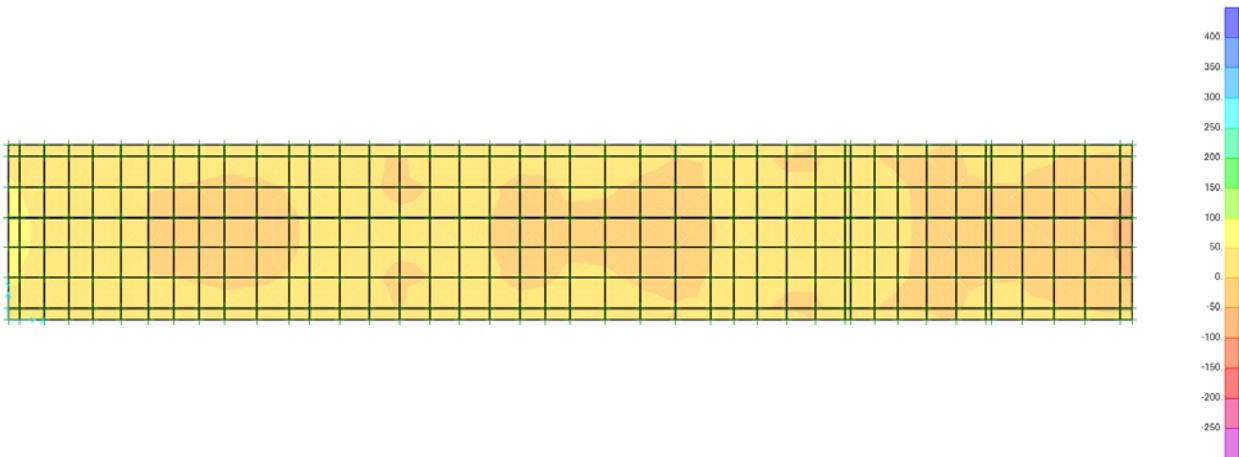


Figura 10.43 – Distribuzione dei Taglio V13 - Combinazione SLV_TOT_fond

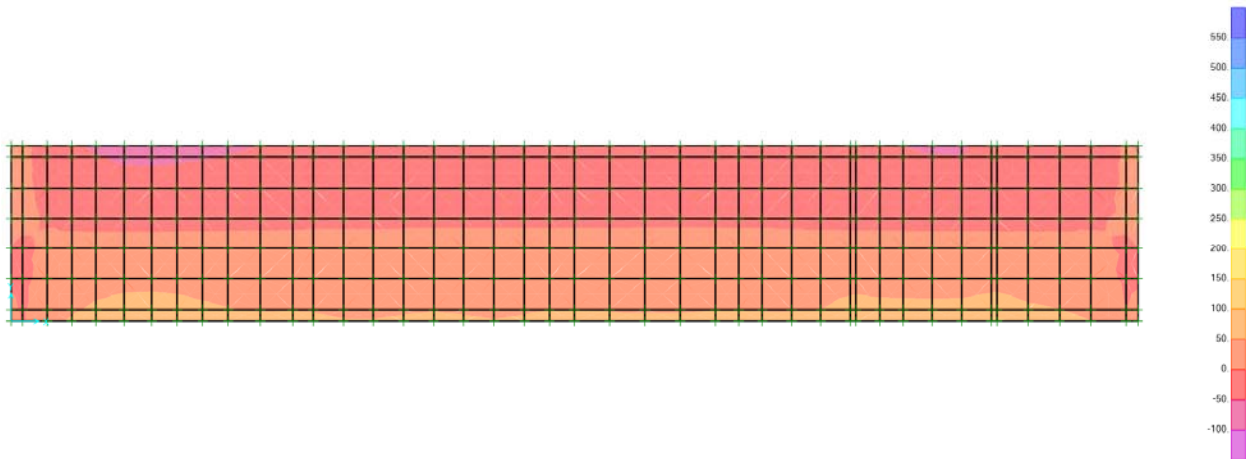


Figura 10.44 – Distribuzione dei Taglio V23 - Combinazione SLV_TOT_fond

10.6 Nervature Platea di Fondazione

Come già accennato al § 4 della presente relazione, le nervature esterne della platea di fondazione sono rappresentate nel modello di calcolo mediante elementi *shell* il cui piano medio giace nel piano verticale.

Per ottenere le sollecitazioni di riferimento rappresentative del comportamento a trave delle quattro nervature, si realizzano delle *Section Cut* lungo la linea d'asse di ciascuna di esse. Ogni *Section Cut* seziona la nervatura con un piano verticale posizionato ad una determinata ascissa lungo l'asse della stessa e riporta il valore risultante delle caratteristiche di sollecitazione rispetto a un punto scelto, coincidente con il baricentro geometrico della sezione trasversale della nervatura per il valore di ascissa considerato.

I valori massimi e minimi delle sollecitazioni per le nervature della platea di fondazione per le combinazioni considerate sono riportati nelle tabelle seguenti, nelle quali i momenti M2 e M3 sono i momenti rispettivamente intorno agli assi 2 e 3 del Sistema di Riferimento Locale delle *Section Cut* e gli sforzi assiali N sono negativi se di trazione.

Sollecitazioni SLU								
Sezione	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
NERVXX_1	SLU_5_fond_A1	-461.738	-175.587	-111.864	-102.7075	88.1375	127.1357	min F2
NERVXX_5	SLU_5_fond_A1	-346.813	200.552	112.064	104.2753	-8.9563	374.9574	max F2
NERVYY_0	SLU_4_fond_A1	-260.551	-69.136	-273.672	-242.659	179.6543	-1.984	min F3
NERVY_0	SLU_4_fond_A1	-223.735	-30.603	273.861	242.7563	-179.6154	32.577	max F3
NERVYY_2	SLU_4_fond_A1	-364.909	-99.754	-28.424	-381.5985	-8.009	52.7899	min M1
NERVY_2	SLU_4_fond_A1	-335.808	-74.879	28.417	381.7722	8.004	63.6501	max M1
NERVY_0	SLU_4_fond_A1	-260.595	-69.288	252.679	202.0582	-205.7482	-2.1717	min M2
NERVYY_0	SLU_4_fond_A1	-223.811	-30.66	-252.732	-201.8728	205.6763	32.588	max M2
NERVX_7	SLU_5_fond_A1	283.447	-120.295	191.894	-7.8704	168.5742	-269.809	min M3



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 63 DI 225

NERVXX_4	SLU_4_fond_A1	-492.237	128.541	27.741	87.1012	-34.1298	388.0188	max M3
Sollecitazioni SLV								
Sezione	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVXX_1	QKE2_fond_+	-290.482	-110.164	-73.284	-52.2279	67.8369	116.0174	min F2
NERVY_10	QKE1_fond_+	-136.562	125.906	-1.155	59.3245	7.4098	90.8733	max F2
NERVY_35	QKE2_fond_+	-165.356	33.843	-191.804	-146.391	865.4125	183.6084	min F3
NERVY_0	QKE2_fond_+	-180.086	-34.189	196.19	156.4916	-142.4328	14.1101	max F3
NERVYY_2	QKE1_fond_+	-252.628	-47.673	-17.561	-248.0714	-4.3092	49.241	min M1
NERVY_2	QKE2_fond_+	-253.556	-54.466	17.262	256.5307	4.7609	43.6821	max M1
NERVY_0	QKE2_fond_+	-180.086	-34.189	196.19	156.4916	-142.4328	14.1101	min M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	237.08	-68.788	158.455	13.9406	139.4928	-164.7897	max M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	237.08	-68.788	158.455	13.9406	139.4928	-164.7897	min M3
NERVXX_4	QKE2_fond_+	-381.226	68.38	19.493	41.0493	-25.1551	269.1483	max M3
Sollecitazioni SLV x 1,1								
Sezione	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Principali
NERVXX_1	QKE1_fond_+	-319.530	-121.180	-80.612	-57.451	74.621	127.619	min F2
NERVY_10	QKE1_fond_+	-150.218	138.497	-1.271	65.257	8.151	99.961	max F2
NERVY_35	QKE2_fond_+	-181.892	37.227	-210.984	-161.030	951.954	201.969	min F3
NERVY_0	QKE2_fond_+	-198.095	-37.608	215.809	172.141	-156.676	15.521	max F3
NERVYY_2	QKE2_fond_+	-277.891	-52.440	-19.317	-272.879	-4.740	54.165	min M1
NERVY_2	QKE2_fond_+	-278.912	-59.913	18.988	282.184	5.237	48.050	max M1
NERVY_0	QKE2_fond_+	-198.095	-37.608	215.809	172.141	-156.676	15.521	min M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	260.788	-75.667	174.301	15.335	153.442	-181.269	max M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	260.788	-75.667	174.301	15.335	153.442	-181.269	min M3
NERVXX_4	QKE2_fond_+	-419.349	75.218	21.442	45.154	-27.671	296.063	max M3
Sollecitazioni SLE rara								
Sezione	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVX_7	SLE_r_5_fond	210.677	-88.955	141.58	-3.1108	124.4477	-192.607	min M3
NERVXX_4	SLE_r_4_fond	-362.189	92.497	20.214	62.2301	-25.0728	282.8436	max M3
Sollecitazioni SLE frequenti								
Sezione	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVX_7	SLE_f_5_fond	227.184	-73.161	147.962	13.9218	130.1239	-148.1894	min M3
NERVXX_4	SLE_f_4_fond	-372.777	75.267	18.632	43.2953	-24.7884	265.6203	max M3
Sollecitazioni SLE quasi permanenti								
Sezione	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVX_7	SLE_qp_fond	232.575	-69.768	150.444	17.8901	132.3242	-138.7867	min M3
NERVXX_4	SLE_qp_fond	-370.153	74.186	18.39	42.7407	-24.6687	261.2064	max M3

11 VERIFICHE SUL SOLAIO

11.1 Dimensionamento Traliccio

Per procedere al dimensionamento del solaio di copertura, in primo luogo è necessario dimensionare il traliccio metallico affogato nelle lastre predalle, in modo da garantire che sia in grado di sostenere i carichi cui è sottoposto in fase di getto, quando ancora il calcestruzzo non risulta collaborante. Assumendo di puntellare i solai soltanto alle estremità, in questa fase lo schema statico è di trave doppiamente appoggiata con sbalzo corrispondente all'aggetto della falda, soggetta a un carico distribuito fornito dal peso proprio del solaio e da un carico accidentale rappresentativo della manodopera.

Si considera dunque la seguente condizione di carico:

dl

FASE DI GETTO

CARICHI PERMANENTI STRUTTI G_1	2,00 kN/m ²	Peso proprio del solaio
CARICHI ACCIDENTALI Q_k	1,00 kN/m ²	Carico accidentale in fase di getto
Largh Influenza Traliccio	0,40 m	3 trallicci ogni lastra da 120 cm
Carico G_1 sul singolo travetto	0,80 kN/m	$G_{1_trav} = G_{1_solaio} * Largh_infl$
Carico Q sul singolo travetto	0,40 kN/m	$Q_{trav} = Q_{solaio} * Largh_infl$
Combinazione SLU	1,64 kN/m	$Q_{TOT_SLU} = 1,3 * G_{1_trav} + 1,5 * Q_{trav}$
Combinazione SLErara	1,20 kN/m	$Q_{TOT_SLE_Rara} = G_{1_trav} + Q_{trav}$
Inclinazione sull'orizzontale	14 °	inclinazione della falda di copertura
Luce netta Solaio Predalles L1	2,94 m	Distanza dai fili fissi A e B misurata lungo la falda inclinata
Luce aggetto Solaio Predalles L2	0,82 m	Sbalzo dato dall'aggetto della copertura
M_{max} SLU	1,50 kNm	Massimo moment flettente

Caratteristiche globali traliccio

Altezza Traliccio	0,10 m
Passo Traliccio	0,15 m
f_{yk}	450,00 N/mm ²
γ_{M0}	1,15
f_{yd}	391,30 N/mm ²
γ_{M1}	1,05
E	210.000,00 N/mm ²

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza svolte per i diversi elementi costituenti il traliccio.

VERIFICA STABILITA' CORRENTE SUPERIORE COMPRESSO

N_{Ed}	15,01 kN	N_{cr}	45.217,49 N
ϕ_{sup}	10,00 mm	$\lambda_{segnato}$	0,88
A_{sup}	78,54 mm ²	α	0,49 Fatt di imperf tab 4.2.VI
J	490,87 mm ⁴	Φ	1,06
l	150,00 mm	χ	0,61
β	1,00	$N_{b,Rd}$	20,52 kN
l_0	150,00 mm	FS	1,37

VERIFICA STABILITA' DIAGONALE COMPRESSO

N_{Ed}	2,16 kN	N_{cr}	18.521,08 N
ϕ_{diag}	8,00 mm	$\lambda_{segnato}$	1,11
A_{diag}	50,27 mm ²	α	0,49 Fatt di imperf tab 4.2.VI
J	201,06 mm ⁴	Φ	1,33
l _{diag}	150,00 mm	χ	0,48
β	1,00	$N_{b,Rd}$	10,37 kN
l_0	150,00 mm	FS	4,80

VERIFICA STABILITA' CORRENTE SUPERIORE COMPRESSO

N_{Ed}	7,97 kN	N_{cr}	18.521,08 N
ϕ_{sup}	8,00 mm	$\lambda_{segnato}$	1,11
A_{sup}	50,27 mm ²	α	0,49 Fatt di imperf tab 4.2.VI
J	201,06 mm ⁴	Φ	1,33
l	150,00 mm	χ	0,48
β	1,00	$N_{b,Rd}$	10,37 kN
l_0	150,00 mm	FS	1,30

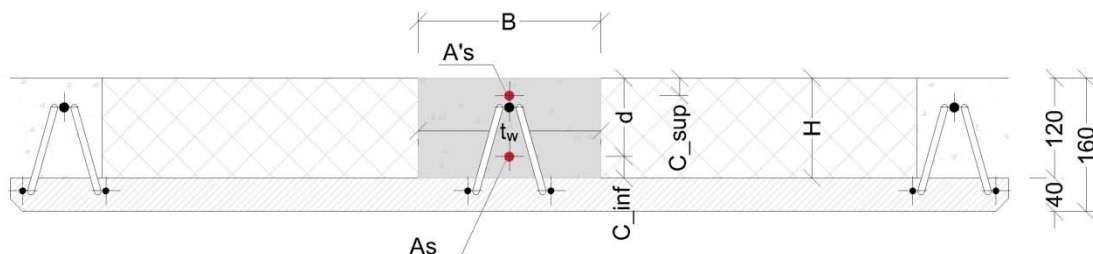
VERIFICA RESISTENZA CORRENTE INFERIORE TESO

N_{Ed}			3,79 kN
ϕ_{inf}			8,00 mm
n			2
A_{inf}			100,53 mm ²
N_{Rd_INF}			19,67 kN
FS			5,19

11.2 Verifiche SLU Solaio

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche della sezione trasversale tipo del solaio di copertura, che ha uno spessore complessivo di 16 cm ma per il quale si assume tuttavia un'altezza di calcolo di 12 cm, trascurando il contributo resistente della lastra predalle.

Si assume inoltre che le armature inferiori non siano appoggiate sulla lastra, ma siano collocate in posizione sopraelevata di 20 mm rispetto a questa.



Carichi Permanenti:

$$G = [(2,00 + 1,06) \cdot 1,2] = 3,672 \text{ kN/m}$$

Sovraccarico variabile:

$$Q = 0,50 \cdot 1,2 = 0,60 \text{ kN/m}$$

Carico Neve:

$$Q_N = 1,23 \cdot 1,20 = 1,48 \text{ kN/m}$$

Carico Totale SLU:

$$1,3 G + 1,5 Q + 0,75 Q_N = 6,784 \text{ kN/m}$$

Carico Totale SLE rara:

$$G + Q + Q_N = 5,752 \text{ kN/m}$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	66 DI 225

Carico Totale SLE frequente: $G + 0,0 \times Q + 0,2 \times Q_N = 3,97 \text{ kN/m}$

Carico Totale SLE quasi permanente: $G + 0,0 \times Q + 0,0 \times Q_N = 3,672 \text{ kN/m}$

Sollecitazioni SLU

M_{\max} (in campata) = $[6,672 \times (2,94)^2] / 8 = 7,21 \text{ kNm}$

T_{\max} (in appoggio) = $6,672 \times 2,94 / 2 = 9,81 \text{ kN}$

M_{\min} (in appoggio) = $[6,672 \times (2,94)^2] / 12 = 4,81 \text{ kNm}$

$M_{\max, \text{tr}}$ (in campata) = $7,21 / 3 = 2,41 \text{ kNm}$

$T_{\max, \text{tr}}$ (in appoggio) = $9,81 / 3 = 3,27 \text{ kN}$

$M_{\min, \text{tr}}$ (in appoggio) = $4,81 / 3 = 1,61 \text{ kNm}$

Sollecitazioni SLE rara

$M_{\max, \text{tr}}$ (in campata) = $2,08 \text{ kNm}$

$M_{\min, \text{tr}}$ (in appoggio) = $1,34 \text{ kNm}$

$T_{\max, \text{tr}}$ (in appoggio) = $2,82 \text{ kN}$

Sollecitazioni SLE frequente

$M_{\max, \text{tr}}$ (in campata) = $1,43 \text{ kNm}$

$M_{\min, \text{tr}}$ (in appoggio) = $0,96 \text{ kNm}$

$T_{\max, \text{tr}}$ (in appoggio) = $1,95 \text{ kN}$

Sollecitazioni SLE quasi permanente

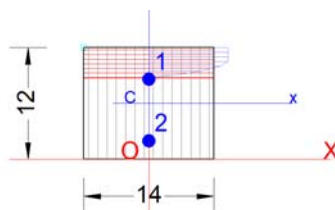
$M_{\max, \text{tr}}$ (in campata) = $1,33 \text{ kNm}$

$M_{\min, \text{tr}}$ (in appoggio) = $0,89 \text{ kNm}$

$T_{\max, \text{tr}}$ (in appoggio) = $1,80 \text{ kN}$

Si disporranno 2 Ø 14 all'intradosso e all'estradosso.

11.2.1 Sezione di campata



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: `Solaio_campata.secEC`

Section description:

Section type:

Beam without stirrups



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	67 DI 225

Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
 Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -

Class:	C30/37
Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
Shear reduced compressive strenght v1*fcd:	8.5 MPa (6.9)EC2
Coeff Crd,c:	0.1200 (§ 6.2.2(1) EC2
Coeff K1:	0.1500 (§ 6.2.2(1) EC2
Coeff v min:	0.0111 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2
Strain at max strength ec2:	0.0020
Ultimate strain ecu:	0.0035
Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6 MPa
Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
Es/Ec in SLS combination:	15.00
Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0 daN/cm ²
Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50 Mpa
Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm

STEEL -

Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
Tensile strength ftk:	540.0 MPa
Design yield stress fyd:	391.3 MPa
Design strength ftd:	391.3 MPa
Design ultimate strain esu:	0.068
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-7.0	0.0
2	-7.0	12.0
3	7.0	12.0
4	7.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	Diam Ø[mm]
1	0.0	8.6	14
2	0.0	2.0	14

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d Design bending force [kNm] around X axis of reference system



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	68 DI 225

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	2.41	3.27

CHECKS RESULTS

Min edge cover of longitudinal bars: 1.3 cm
 Min distance between longitudinal bars: 5.2 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	2.41	0.00	5.26	2.183	1.5(0.2)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

Parameter	Description
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00195	-7.0	12.0	-0.00010	0.0	8.6	-0.00710	0.0	2.0

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

Parameter	Description
a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.001059599	-0.009215186	0.330	0.853

ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS IN MEMBER NOT REQUIRING SHEAR REINFORCEMENT

Check	Result of check
Ved	Design shear force [kN] = sum of Vx and Vy projected onto the normal to the neutral axis
Vrd,c	Shear resistance [kN] [§6.2.2 EC2]
d	Mean weighted effective depth of cross-section [cm]
bw	Mean weighted width of cross-section [cm]

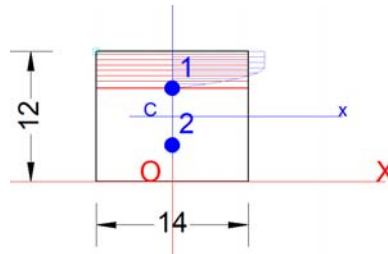
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	69 DI 225

R_o Ratio of long. tensile reinforcement to $(b_w \cdot d)$ [<0.02]
 Sc_p Ratio of axial force N to the area A_c of concrete cross-section [Mpa]
 k Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vrd,c	d	b_w	R_o	Sc_p	k
1	OK	3.27	8.23	10.7	14.0	0.0165	0.00	2.000

11.2.2 Sezione d'appoggio



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: [Solaio_appoggio.secEC](#)

Section description:
 Section type: Beam without stirrups
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
 Reference of assigned forces: Principal axes y, y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength f_{cd} :	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	32836.6 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/ cm2
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0 daN/ cm2
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa
	Design yield stress f_{yd} :	391.3 MPa
	Design strength f_{td} :	391.3 MPa
	Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	70 DI 225

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-7.0	0.0
2	-7.0	12.0
3	7.0	12.0
4	7.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	Diam Ø[mm]
1	0.0	8.6	14
2	0.0	2.0	14

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system	
		Mx d	Vy d
1	0.00	1.61	0.00

CHECKS RESULTS

Min edge cover of longitudinal bars: 1.3 cm
 Min distance between longitudinal bars: 5.2 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Comb.N.	Check	Result of check					
		N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	1.61	0.00	5.26	3.268	1.5(0.2)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max: Ultimate compressive strain in concrete
 ec*: Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
 Xc max: X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 Yc max: Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 es max: Max strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs max: X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 Ys max: Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 es min: Min strain in steel bars (+ if compressive)



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	71 DI 225

Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
 Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00195	-7.0	12.0	-0.00010	0.0	8.6	-0.00710	0.0	2.0

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: $aX+bY+c=0$ reference X,Y,O
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.001059599	-0.009215186	0.330	0.853

TAGLIO:

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 140$ mm larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa	resist. caratteristica
$h = 120$ mm altezza	$\gamma_s = 1.15$	coeff. sicurezza
$c = 33$ mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$ MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:	
$\gamma_c = 1.50$ coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 1 \text{ } \emptyset$	$14 = 1.54 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$ coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset$	$0 = 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 87$ mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset$	$0 = 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 17.00$ MPa resist. di calcolo		1.54 cm^2

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$ kN $V_{ed} = 3.3$ kN

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1+(200/d)^{1/2} < 2$ $k = 2.000 < 2$
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ $v_{min} = 0.542$
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$ $\rho_1 = 0.013 < 0.02$
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$ $\sigma_{cp} = 0.00$ MPa f_{cd}

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$
 $V_{Rd} = 9.8$ kN; (con $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 6.6$ kN)
 $V_{Rd} = 9.8$ kN valore di calcolo

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	72 DI 225

11.3 Verifiche SLE Solaio

11.3.1 Sezione di campata

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

		Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
		Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
N				
MX				
Comb.N.	N	Mx	My	
1	0.00	2.08	0.00	

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

		Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
		Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
N				
MX				
Comb.N.	N	Mx	My	
1	0.00	1.43 (1.12)	0.00 (0.00)	

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

		Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
		Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
N				
MX				
Comb.N.	N	Mx	My	
1	0.00	1.33 (1.12)	0.00 (0.00)	

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	7.54 (18.0)	-7.0	12.0	-161.3 (360.0)	0.0	2.0	35	1.5	0.044

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm
e1	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k2	= 0.5 for bending; =(e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	73 DI 225

k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max Max final crack [mm] spacing
wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00108	0	0.500	14.0	0.00056 (0.00048)	98	0.055	1.26	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	5.19 (18.0)	-7.0	12.0	-110.9 (360.0)	0.0	2.0	35	1.5	0.044

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00074	0	0.500	14.0	0.00033 (0.00033)	98	0.033 (0.40)	1.26	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.82 (13.5)	-7.0	12.0	-103.1 (360.0)	0.0	2.0	35	1.5	0.044

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00069	0	0.500	14.0	0.00035 (0.00031)	98	0.034 (0.30)	1.26	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent combination
Region Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc = Ned/Ac = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1 Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg Area [cm²]of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min Minimum Area [cm²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.39	84	---	---	---	-13.49	1.5	0.3
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.39	84	---	---	---	-12.55	1.5	0.3



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	74 DI 225

11.3.2 Sezione d'appoggio

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	1.34	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	0.96 (1.12)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	0.89 (1.12)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.86 (18.0)	-7.0	12.0	-103.9 (360.0)	0.0	2.0	35	1.5	0.044

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k2	= 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	75 DI 225

Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
 MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00070	0	0.500	14.0	0.00031 (0.00031)	98	0.031	1.26	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.48 (18.0)	-7.0	12.0	-74.5 (360.0)	0.0	2.0	35	1.5	0.044

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00050	0	0.500	14.0	0.00022 (0.00022)	98	0.022 (0.40)	1.26	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.23 (13.5)	-7.0	12.0	-69.0 (360.0)	0.0	2.0	35	1.5	0.044

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00046	0	0.500	14.0	0.00021 (0.00021)	98	0.020 (0.30)	1.26	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

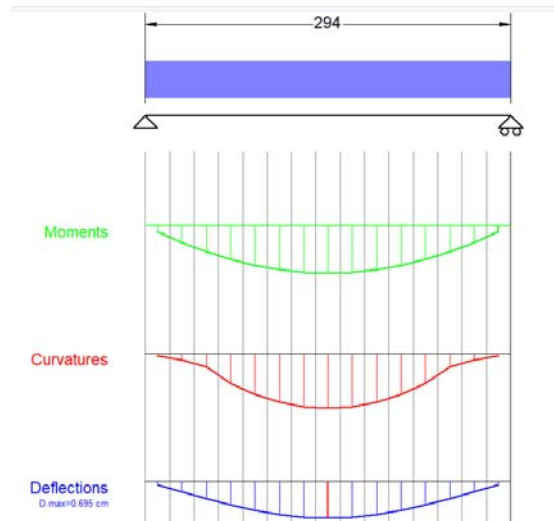
Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination
 Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent combination
 Region Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
 k Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
 kc Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
 Act Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
 Ned Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
 Sc = Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
 k1 Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
 Fcr Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
 As reg Area [cm²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
 As,min Minimum Area [cm²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.39	84	---	---	---	-9.06	1.5	0.3
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	84	---	---	---	-8.40	1.5	0.3

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	76 DI 225

11.3.3 Deformabilità



DEFLECTIONS CHECK IN A REINFORCED CONCRETE BEAM (By numerical integration [§7.4.3(7)])

FILE NAME: Solleta di copertura-deflectionrev_1.secEC

Section description:

Beam data: Beam on two supports
N. sub-elements of beam: 1
Mean length of discretization of sub-elements: 20.0 cm
Type of load combination (Serviceability Limit State): Characteristic

MATERIALS

CONCRETE	Class:	C30/37
	Mean elastic modulus E_{cm} :	32836.6 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	2.896 MPa
	Creep coeff.:	2.50
	Shrinkage coeff.:	0.25
	Ageing coeff.:	0.800
	Critical concrete compressive stress SLS:	18.0 MPa
STEEL	Grade:	B450C
	Elastic modulus E_f :	200000.0 MPa
	Coeff. α [eq.(7.19)]for short-term deflection:	1.00
	Critical steel tension stress:	-360.00 MPa

CHARACTERISTICS OF EACH SUB-ELEMENTS OF BEAM

N. Element:	Sequence numbers assigned to the elements from right to left
Section name:	File name of section assigned to the elements
Length:	Elem. length [cm]
Py:	Consant uniform vertical load on the element [kN/m] [+ if downwards]

N.Timber	Section Name	Length	Py
1	Solaio_campata.secEC	294.0	1.92



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	77 DI 225

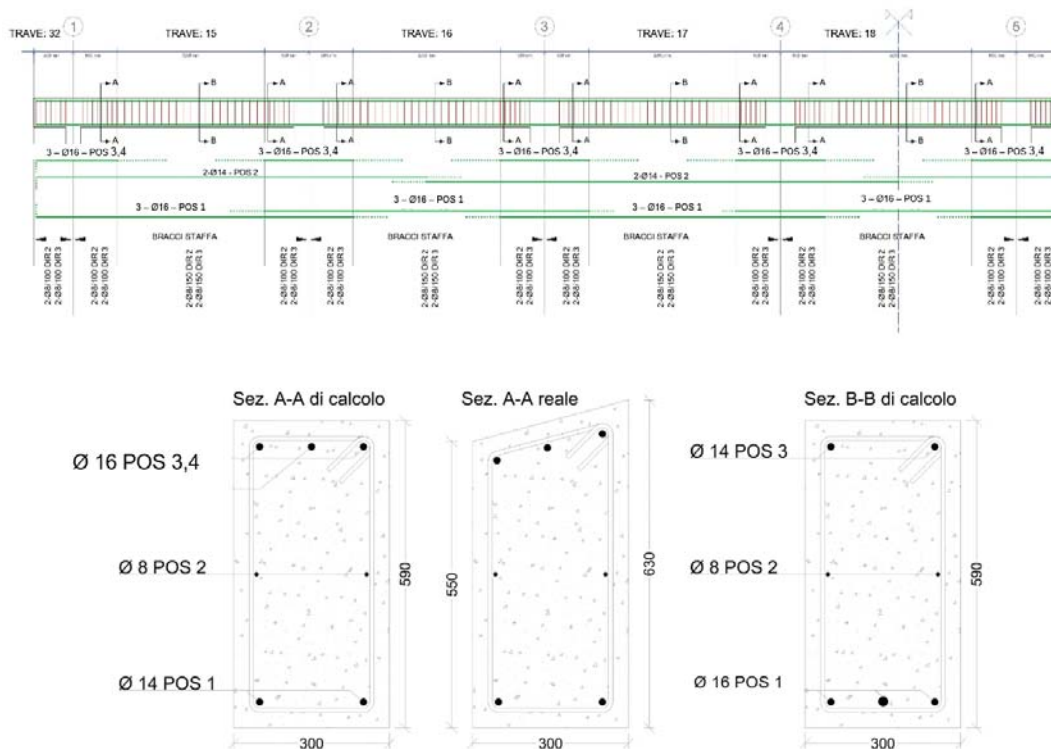
DEFLECTIONS - CURVATURES - AXIAL DISPLACEMENTS OF BEAM SECTIONS

N.Sec: Progressive order number of the section (from beam discretization) from left to right
X sec: Distance of sections from left end of the beam
Sec. Name: File name of section at X distance
Check: OK/NotOK = conformity of max stresses to the critical stresses of materials
Crack: Y/N = section cracked or not cracked (concrete stresses < tensile strength)
Df. I: Short time deflection [cm] [+ if downward] in the current section
Cur. I: Short time curvature [1/cm] in current the section
A.D. I: Short time axial displacement [cm] of section (+ if from right to left)
Df. F: Long time deflection [cm] of current section [+ if downward]
Cur. F: Long time curvature [1/cm] of current section
A.D. F: Long time axial displacement [cm] of section

N.Sec	X	Sec. Name	Check	Crack	Df. I	Cur. I	A.D. I	Df. F	Cur. F	A.D. F
1	9.8	Solaio_campata.secEC	OK	N	0.067	0.0000037	0.000	0.067	0.0000037	0.000
2	29.4	Solaio_campata.secEC	OK	N	0.199	0.0000102	0.000	0.199	0.0000102	0.000
3	49.0	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.328	0.0000205	0.000	0.328	0.0000205	0.000
4	68.6	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.449	0.0000466	0.000	0.449	0.0000466	0.000
5	88.2	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.551	0.0000645	0.000	0.551	0.0000645	0.000
6	107.8	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.629	0.0000766	0.000	0.629	0.0000766	0.000
7	127.4	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.678	0.0000836	0.000	0.678	0.0000836	0.000
8	147.0	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.695	0.0000859	0.000	0.695	0.0000859	0.000
9	166.6	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.678	0.0000836	0.000	0.678	0.0000836	0.000
10	186.2	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.629	0.0000766	0.000	0.629	0.0000766	0.000
11	205.8	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.551	0.0000645	0.000	0.551	0.0000645	0.000
12	225.4	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.449	0.0000466	0.000	0.449	0.0000466	0.000
13	245.0	Solaio_campata.secEC	OK	S	0.328	0.0000205	0.000	0.328	0.0000205	0.000
14	264.6	Solaio_campata.secEC	OK	N	0.199	0.0000102	0.000	0.199	0.0000102	0.000
15	284.2	Solaio_campata.secEC	OK	N	0.067	0.0000037	0.000	0.067	0.0000037	0.000

12 VERIFICHE TRAVE FILO FISSO B

Di seguito è schematizzata la distribuzione di armature longitudinali e staffe per la trave corrispondente al filo fisso B, considerando la simmetria dell'elemento, si riporta in questa sede solo la sezione longitudinale della prima metà (fili fissi 1 – 5).



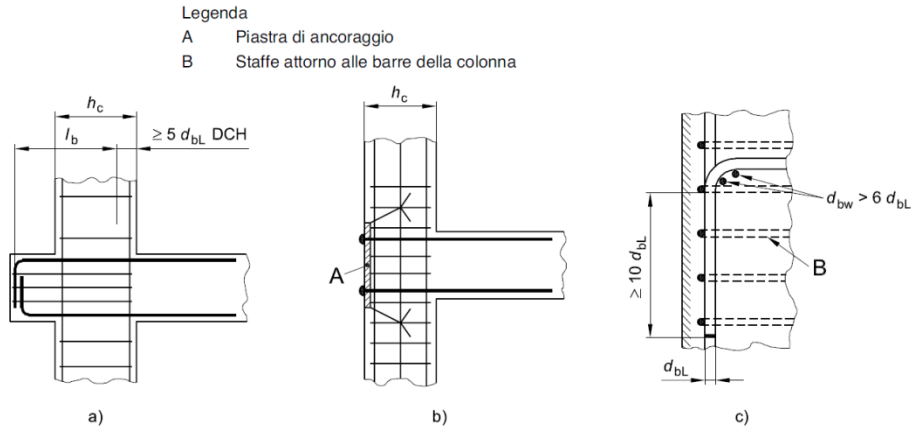
Come già detto al § 8.7, si assume che la struttura sia in Classe di Duttività Bassa (CDB), pertanto la zona critica della trave si estende per una lunghezza pari a 1 volta l'altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro (§ 7.4.6.1.1 NTC 2018).

In definitiva dunque si assume un' **Altezza Critica di 600 mm**.

Per garantire l'ancoraggio delle armature longitudinali e prevenire una crisi di aderenza, si prevedono i seguenti accorgimenti:

- nei *nodi trave-colonna interni* le armature sono prolungate al di fuori della zona critica e si ancorano dunque oltre il nodo;
- nei *nodi trave-colonna esterni* le armature longitudinali sono piegate con una lunghezza di 25 cm ($>10\phi_{bL} = 24$ cm) disponendo un'apposita armatura trasversale dietro la piegatura, in analogia a quanto riportato nella Fig. 5.13 c) di UNI EN 1998-1:2005, di seguito riportata:

figura 5.13 Misure aggiuntive per ancoraggi realizzati in collegamenti trave-colonna esterni



12.1 Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle travi secondarie aventi sezione rettangolare di dimensioni 30x59 cm. Le verifiche saranno condotte per i differenti stati limiti ed in corrispondenza delle sezioni maggiormente sollecitate dell'elemento per effetto della combinazione di carico più gravose.

Qui di seguito si riportano le sollecitazioni minime e massime per gli SLU, SLV, SLD, SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLU-SLV									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
	0.3	SLU_3	-6.113	-53.684	-2.188	3.1686	-3.8178	-38.1308	min V2
21	4.5	SLU_3	1.533	53.684	0.353	7.1066	3.8002	-32.8253	max V2
20	0.3	QKE2	-6.629	-34.82	-4.678	0.6457	-9.0495	-27.3912	min V3
26	2.71667	QKE2	4.696	1.118	4.678	2.2543	1.0702	18.1408	max V3
15	4.5	SLU_4	-9.222	45.451	-1.143	-7.8082	-5.2157	-35.0558	min T
20	0.3	SLU_4	3.439	-45.451	1.115	7.8082	3.0404	-31.2851	max T
21	0.15	QKE2	-6.629	-26.732	-4.678	-4.5743	-11.3452	-9.5362	min M2
15	0.15	QKE2	4.696	-22.811	4.678	4.5743	11.3452	-1.2589	max M2
15	4.5	SLU_3	-6.247	47.369	-0.353	-7.1066	-3.8002	-38.1308	min M3
21	2.08333	SLU_3	1.533	1.717	0.353	2.5213	-0.6506	29.8292	max M3

Sollecitazioni SLD									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
20	0.3	SLD1	-5.24	-35.46	-2.596	3.0284	-4.6096	-28.9623	min V2



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	80 DI 225

21	4.5	SLD1	3.306	35.46	1.469	3.9132	4.6096	-17.0161	max V2
20	0.3	SLD2	-3.909	-33.879	-2.699	2.0048	-5.0283	-25.2792	min V3
15	2.08333	SLD2	1.975	1.862	2.699	0.8952	1.5768	17.9452	max V3
15	4.5	SLD2	-3.909	31.84	-1.572	-4.9369	-5.0283	-25.2792	min T
20	0.3	SLD2	1.975	-31.84	1.572	4.9369	3.6489	-20.6992	max T
21	0.15	SLD2	-3.909	-25.791	-2.699	-3.2152	-6.7357	-7.5487	min M2
15	0.15	SLD2	1.975	-23.752	2.699	3.2152	6.7357	-3.2463	max M2
20	0.3	SLD1	-5.24	-35.46	-2.596	3.0284	-4.6096	-28.9623	min M3
15	1.6	SLD1	3.306	-2.961	2.596	0.4516	2.9314	18.1855	max M3

Sollecitazioni SLE rara									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
15	4.5	SLE_r_3	-4.275	35.136	-0.176	-5.103	-2.607	-27.910	min M3
15	2.08333	SLE_r_3	0.912	1.235	1.517	0.512	1.181	21.804	max M3

Sollecitazioni SLE frequente									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
21	4.5	SLE_f_3	-1.005	33.339	-0.598	3.491	0.654	-23.903	min M3
21	2.08333	SLE_f_3	-0.965	0.887	-0.569	0.591	-0.688	18.538	max M3

Sollecitazioni SLE quasi permanente									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
21	4.5	SLE_qp	-0.967	32.86	-0.564	3.471	0.690	-22.990	min M3
21	2.08333	SLE_qp	-0.967	0.842	-0.564	0.571	-0.673	17.735	max M3

• **Verifica di resistenza allo SLU**

Si riportano di seguito le sollecitazioni di calcolo, per l'elemento maggiormente sollecitato, in corrispondenza della sezione d'appoggio e della sezione di campata (convenzione sui segni: compressione negativa (-), momento flettente che tende le fibre superiori negativo (-)).

• **Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE**

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame, essendo in fabbricato di classe d'uso II come riportato in Tabella 7.3III §7 delle NTC2018, le verifiche agli SLE si effettuano solo in termini di rigidezza.

a) Verifiche di fessurazione:

Per assicurare la funzionalità e la durata della struttura è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2018 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo *stato limite di apertura delle fessure*. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- La verifica fessurazione è condotta cautelativamente con limie $w = 0.2$ mm in combinazione caratteristica.

b) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2018. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:
 - $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ (per combinazione caratteristica rara);
 - $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ (per combinazione quasi permanente);
- Per l'acciaio:
 - $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ (per combinazione caratteristica rara).

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso distinguendo tra combinazioni rare e quasi permanenti. Dalle tabelle seguenti, nelle quali accanto a ciascun valore di tensione viene indicato il corrispondente valore limite, si evince che le verifiche delle tensioni di esercizio risultano soddisfatte.

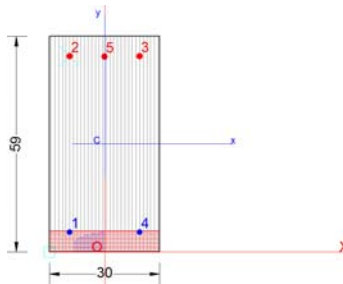
In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale della trave perimetrale tipo:

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	82 DI 225

1) Zone d'appoggio:

- Armatura superiore 3 Φ 16
- Armatura inferiore 2 Φ 14



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Support section.secEC

Section description:

Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia
 Ductility class: DCM
 Curvature ductility factor request: 4.33
 Section's position in the member: In critical region

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37	
	Design compressive strength fcd:	17.0	MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 * f_{cd}$:	8.5	MPa (6.9)EC2
	Coeff Crd,c:	0.1200	(§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff K1:	0.1500	(§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff v min:	0.3346	Mpa(§ 6.2.2(1) EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020	
	Ultimate strain ecu:	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle	
	Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6	MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0	kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0	daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400	mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50	Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300	mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.00	MPa
	Tensile strength ftk:	540.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	83 DI 225

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	0.0
2	-15.0	59.0
3	15.0	59.0
4	15.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.5	5.5	14
2	-9.5	53.5	16
3	9.5	53.5	16
4	9.5	5.5	14
5	0.0	53.4	16

SHEAR REINFORCEMENT

Stirrups diameter: 8 mm
 Spacing of stirrups: 11.1 cm

Stirrups: One hoop

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
		Design bending force [kNm] around X axis of reference system	Design shear component [kN] parallel to Y reference axis
1	6.25	-38.13	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	4.28	-27.91	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	-1.00	-23.91 (-58.93)	0.00 (0.00)



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	84 DI 225

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	1.00	-22.99 (-59.45)	0.00 (0.00)

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars:	4.7	cm
Min distance between longitudinal bars:	7.9	cm
Min edge cover of stirrups:	3.9	cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS - LOCAL DUCTILITY CONTROL

Check Result of check
 N Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 Mx Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
 N ult Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
 Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
 S.F. Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
 As Tension Area [cm²] of bars in tension (beam section). Max ductility area for code is shown between brackets [eq.(5.11) EC8]
 As Compr Area [cm²] of bars in compressive zone (beam section). Min area for code is shown between brackets [§5.4.3.1.2(4)a) EC8]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension	As Compr
1	OK	6.25	-38.13	6.18	-122.05	3.198	6.0(19.4)	3.1(2.9)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max Ultimate compressive strain in concrete
 ec* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
 Xc max X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 Yc max Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs max X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 Ys max Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
 Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.01204	-15.0	0.0	0.00012	-9.5	5.5	-0.02938	-9.5	53.5

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	-0.000614595	0.003500000	0.106	0.700



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	85 DI 225

ULTIMATE LIMIT STATES - SHEAR CHECKS

Stirrup diameter:	8	mm	
Stirrups spacing(pitch):	11.1	cm	< Max spacing for code = 11.2 cm
Area stirrup/m:	9.1	cm ² /m	> Stirrup area strictly necessary for shear = 0.0cm ² /m
Area stirrups/m:	9.1	cm ² /m	> Min. Area stirrup bars (9.5N) = 2.9cm ² /m

Check	Result of check
Ved	Design Shear Vy [kN] orthogonal to neutral axis
Vrd,max	Shear resistance [kN] by concrete diagonal struts [(6.9) EC2]
Vrd,s	Shear resistance [kN] by stirrups [(6.8) EC2]
Zm	Main weighted inner lever arm [cm] of strips orthogonal to neutral axis: are not included strips without an extreme compressed. The weights are constituted by the length of lever arm for each strips.
Dm	Main weighted effective depth [cm] of strips orthogonal to neutral axis.
bw	Mean weighted shear width [cm] misurate parallel to the neutral axis = = ratio of area of resistant strips to Zmed value
Cot(Th)	Cot of angle between the inclined concrete struts and beam axis (§6.2.3(1) EC2)
Ast min	Min area [cm ² /m] of stirrups: Ast min = 100*rw*bw. In wich rw is given from (9.5N) EC2
Ast	Area of hoops+cross-ties strictly necessary for shear force[cm ² /m]
A.Eff	Effective Area of hoops+cross-ties in the shear direction in current comb. [cm ² /m]

Comb.N.	Check	Ved	Vrd,max	Vrd,s	Zm Dm	bw	Cot(Th)	Ast min	Ast	A.Eff
1	OK	0.00	653.09	181.53	51.2 56.7	30.0	1.00	2.9	0.0	9.1

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stess (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.37 (18.0)	-50.0	30.0	-92.0 (360.0)	9.5	53.5	420	6.0	0.014

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm
e1	Result of check
e2	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
k1	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -)assessed in cracked section
kt	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
k2	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k3	= 0.5 for bending; =(e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
Ø	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
e sm - e cm	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
sr max	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
wk	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
MX crack	Max final crack [mm] spacing
MY crack	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
	First cracking bending moment around X axis[kNm]
	First cracking bending moment around Y axis[kNm]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 86 DI 225

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00053	0	0.500	16.0	0.00028 (0.00028)	349	0.096	-60.12	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.00 (18.0)	-50.0	30.0	-82.4 (360.0)	9.5	53.5	420	6.0	0.014

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00047	0	0.500	16.0	0.00025 (0.00025)	349	0.086 (0.40)	-58.93	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.94 (13.5)	-50.0	30.0	-77.7 (360.0)	9.5	53.5	420	6.0	0.014

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00044	0	0.500	16.0	0.00023 (0.00023)	349	0.081 (0.30)	-59.45	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

- Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination
- Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent combination
- Region Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
- k Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
- kc Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
- Act Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
- Ned Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
- Sc = Ned/Ac = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
- k1 Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
- Fcr Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
- As reg Area [cm²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
- As,min Minimum Area [cm²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

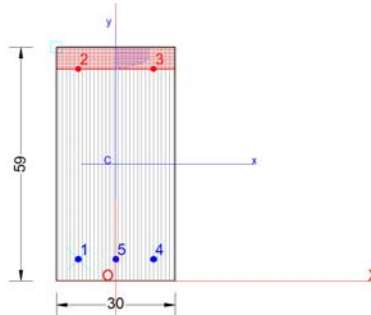
Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	0.85	0.40	870	3.05	0.17	1.50	---	6.0	2.4
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.85	0.40	870	4.75	0.27	1.50	---	6.0	2.4

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	87 DI 225

2) Campata:

- Armatura superiore 2 Φ 14
- Armatura inferiore 3 Φ 16



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Sezione_Campata.secEC

Section description:
 Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia
 Ductility class: DCM
 Curvature ductility factor request: 4.33
 Section's position in the member: In critical region

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Coeff Crd,c:	0.1200 (§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff K1:	0.1500 (§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff v min:	0.3346 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	88 DI 225

Design ultimate strain esu: 0.068
Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit: 360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	0.0
2	-15.0	59.0
3	15.0	59.0
4	15.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.5	5.5	16
2	-9.5	53.5	14
3	9.5	53.5	14
4	9.5	5.5	16
5	0.0	5.5	16

SHEAR REINFORCEMENT

Stirrups diameter: 8 mm
Spacing of stirrups: 11.1 cm
Stirrups: One hoop

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system	
		Mx d	Vy d
1	0.00	29.82	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.	
		Mx	My
1	0.91	21.80	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.	
		Mx	My



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	89 DI 225

1	1.00	18.54 (59.53)	0.00 (0.00)
---	------	---------------	-------------

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	1.00	17.74 (59.54)	0.00 (0.00)

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars:	4.7	cm
Min distance between longitudinal bars:	7.9	cm
Min edge cover of stirrups:	3.9	cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS - LOCAL DUCTILITY CONTROL

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Max ductility area for code is shown between brackets [eq.(5.11) EC8]
As Compr	Area [cm ²] of bars in compressive zone (beam section). Min area for code is shown between brackets [§5.4.3.1.2(4)a) EC8]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension	As Compr
1	OK	0.00	29.82	0.00	120.61	4.045	6.0(19.4)	3.1(2.9)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

Label	Description
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.01228	-15.0	59.0	0.00007	-9.5	53.5	-0.02988	-9.5	5.5

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

Label	Description
a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	90 DI 225

1 0.000000000 0.000623881 -0.033308959 0.105 0.700

ULTIMATE LIMIT STATES - SHEAR CHECKS

Stirrup diameter: 8 mm
 Stirrups spacing(pitch): 11.1 cm < Max spacing for code = 11.2 cm
 Area stirrup/m: 9.1 cm²/m > Stirrup area strictly necessary for shear = 0.0cm²/m
 Area stirrups/m: 9.1 cm²/m > Min. Area stirrup bars (9.5N) = 2.9cm²/m

Check Result of check
 Ved Design Shear Vy [kN] orthogonal to neutral axis
 Vrd,max Shear resistance [kN] by concrete diagonal struts [(6.9) EC2]
 Vrd,s Shear resistance [kN] by stirrups [(6.8) EC2]
 Zm Main weighted inner lever arm [cm] of strips orthogonal to neutral axis:
 are not included strips without an extreme compressed.
 The weights are constituted by the length of lever arm for each strips.
 Dm Main weighted effective depth [cm] of strips orthogonal to neutral axis.
 bw Mean weighted shear width [cm] misurate parallel to the neutral axis =
 = ratio of area of resistant strips to Zmed value
 Cot(Th) Cot of angle between the inclined concrete struts and beam axis (§6.2.3(1) EC2)
 Ast min Min area [cm²/m] of stirrups: Ast min = 100*rw*bw. In wich rw is given from (9.5N) EC2
 Ast Area of hoops+cross-ties strictly necessary for shear force[cm²/m]
 A.Eff Effective Area of hoops+cross-ties in the shear direction in current comb. [cm²/m]

Comb.N.	Check	Ved	Vrd,max	Vrd,s	Zm Dm	bw	Cot(Th)	Ast min	Ast	A.Eff
1	OK	0.00	653.52	181.65	51.3 56.8	30.0	1.00	2.9	0.0	9.1

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.83 (18.0)	-15.0	59.0	-73.6 (360.0)	-9.5	5.5	405	6.0	0.015

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm
 Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -)assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
 k2 = 0.5 for bending; =(e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	91 DI 225

MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00042	0	0.500	16.0	0.00022 (0.00022)	342	0.076	59.45	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.56 (18.0)	-15.0	59.0	-62.5 (360.0)	-9.5	5.5	405	6.0	0.015

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00036	0	0.500	16.0	0.00019 (0.00019)	342	0.064 (0.40)	59.53	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.49 (13.5)	-15.0	59.0	-59.7 (360.0)	-9.5	5.5	405	6.0	0.015

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00034	0	0.500	16.0	0.00018 (0.00018)	342	0.061 (0.30)	59.54	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination
 Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent combination
 Region Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
 k Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
 kc Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
 Act Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
 Ned Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
 Sc = Ned/Ac = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
 k1 Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
 Fcr Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
 As reg Area [cm²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
 As,min Minimum Area [cm²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	0.85	0.40	870	4.02	0.23	1.50	---	6.0	2.4
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.85	0.40	870	3.89	0.22	1.50	---	6.0	2.4

In aggiunta, fuori calcolo, andranno disposti 2 Φ 8 come ferri di parete.

12.2 Verifiche SLU – Taglio (gerarchia)

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio di calcolo V_{Ed} si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi gravitazionali agenti sulla trave, considerata incernierata agli estremi, alle sollecitazioni di taglio corrispondenti alla formazione di cerniere plastiche nella trave e prodotte dai momenti resistenti (ultimi) delle due sezioni di plasticizzazione (generalmente quelle di estremità) amplificati del fattore di sovra resistenza γ_{Rd} assunto pari a 1.0 per CDB.

Deve risultare (NTC2018 – 4.1.2.3.5.1):

$$V_{Rd} > V_d$$

dove:

V_d = Valore di calcolo del taglio agente;

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

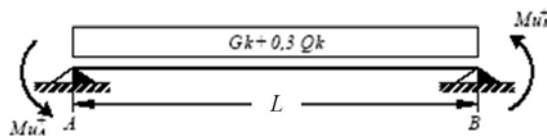
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg }^2 \theta)$$

dove:

α : Angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

θ : Angolo d'inclinazione dei puntoni in calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento.

• 1° Schema:

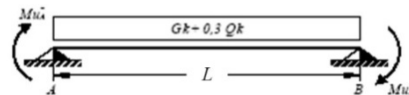


Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu_A^+ + Mu_B^+}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu_A^+ + Mu_B^+}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

• 2° Schema:



Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu_A^- + Mu_B^-}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu_A^- + Mu_B^-}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

Si riporta di seguito un prospetto riepilogativo con i valori delle sollecitazioni taglianti ottenute seguendo la metodologia descritta e riportata negli schemi precedenti:

<u>Determinazione taglio di calcolo</u>						
Base	0.30	m	$M_{uA}^{(+)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uA}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(+)}$ (kNm)
Altezza	0.59	m	122.05	122.05	122.05	122.05
L_{trave}	4.80	m				
$L_{influenza}$	0.00	m	1° Schema		2° Schema	
Peso proprio trave	4.425	kN/m	V_A (kN)	V_B (kN)	V_A (kN)	V_B (kN)
Carico solaio	2.00	kN/m ²	74.44	27.28	74.44	27.28
Carico perm. non strutt.	3.40	kN/m ²				
G_k	9.825	kN/m	$V_{SAP(output)} =$	53.69	kN	
γ_Q	0.30	[-]	$V_{Ed} =$	53.69	kN	
Q_k	0.00	kN/m				
γ_{Rd}	1.00	[-]				

Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
15	0.3	SLU_3	-6.113	-53.684	-2.188	3.1686	-3.8178	-38.1308	min V2
21	4.5	SLU_3	1.533	53.684	0.353	7.1066	3.8002	-32.8253	max V2

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è più alto del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000, si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:

$$V_{Ed-max} = 74.44 \text{ kN}$$



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	94 DI 225

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 300$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 590$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 55$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 3$	$\emptyset 16$	$= 6.03$ cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm ²
$d = 535$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm ²
$f_{cd} = 17.00$	MPa	resist. di calcolo			6.03 cm ²

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$ kN $V_{ed} = 74.4$ kN

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$ $k = 1.611$ < 2
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ $v_{min} = 0.392$
 $\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d) < 0.02$ $\rho_1 = 0.004$ < 0.02
 $\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c < 0.2 f_{cd}$ $\sigma_{cp} = 0.00$ MPa f_{cd}

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 69.6$ kN; (con $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 62.9$ kN)

$V_{Rd} = 69.6$ kN valore di calcolo

la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio

• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

$\theta = 45.0$ ° inclinaz. bielle cls angolo ammissibile

$\alpha = 90.0$ ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio:

$A_{sw}/s =$ staffe $\emptyset 8$ mm con n° bracci (trav) 2 passo 5 cm = 0.201 cm²/cm

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha$
 $= 378.9$ kN

$f_{cd} = 8.50$ MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.000$ coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha)$
 $= 613.9$ kN

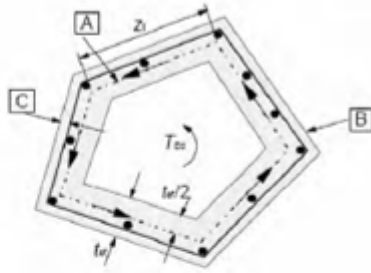
$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$ $V_{Rd} = 378.9$ > 74.4 kN c.s. = 5.1

la sezione armata a taglio risulta verificata.

Si adotteranno nelle zone d'appoggio, per un tratto pari ad 0,80 m dal pilastro, staffe $\Phi 8 / 5$ cm, mentre nelle zone centrali di campata rimanenti staffe $\Phi 8 / 10$ cm.

12.3 Verifiche SLU – Torsione

Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti NTC2018 4.1.2.3.6



• Materiali:

Calcestruzzo		
	C30/37	- seleziona calcestruzzo
$f_{ck} =$	30	Mpa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_c =$	1.5	
$f_{cd} =$	17.0000	Mpa
$f'_{cd} =$	8.50000	Mpa
Acciaio		
$f_{yk} =$	450	Mpa
$\gamma_s =$	1.15	
$f_{yd} =$	391.30	Mpa
$f_{ywd} =$	360.00	Mpa

• Forze di progetto:

$T_{ed} =$	7809200	N*mm	- momento torsionale di progettazione
$V_{ed} =$	74444	N	- forza di taglio di progettazione

• Proprietà sezione:

$b =$	300	mm	- larghezza di sezione
$h =$	590	mm	- altezza di sezione
$c =$	40	mm	- calcestruzzo copriferro(netto)
$d =$	550	mm	- altezza utile
$A =$	177000	mm ²	
$u =$	1780	mm	
$c_{minf} =$	56	mm	- calcestruzzo copriferro al baricentro del rinforzo
$\min t_w =$	112.00	mm	
$t_w =$	112.00	mm	- è lo spessore della sezione cava
$t_w/2 =$	56.00	mm	
$A_k =$	89864.00	mm ²	- area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico
$u_k =$	1332.00	mm	- perimetro medio del nucleo resistente
$z_1 =$	478.00	mm	

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	96 DI 225

• Armatura di progetto:			
$\Sigma A_{s, long} =$	770	mm ²	- area complessiva delle barre longitudinali
staffe $\phi =$	8	mm	
№ bracci (trasv)=	2		
s =	100	mm	- passo delle staffe
Asw/s =	1.01	mm ² /mm	- staffe disponibili
• Resistenza torsionale e taglio NTC18 [4.1.34], [4.1.35]:			
longitudinali, il corente compreso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti: 1 ≤ ctg θ ≤ 2.5 [4.1.25]			
$\theta =$	22	deg.	
ctg $\theta =$	2.48		
$\alpha =$	90.00	deg	- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
ctg $\alpha =$	0.00		
$\alpha_c =$	1.00		- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave(1 per membrane non compresse)
$T_{Rcd} =$	59428390.37	N*mm	- Con riferimento al calcestruzzo la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.35]
$T_{Rsd} =$	174993013.22	N*mm	- Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.36]
$T_{Rtd} =$	16425797.78	N*mm	- Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.37]
$T_{Rd} =$	16425797.78	N*mm	- min($T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rtd}$)
$V_{Rcd} =$	438416.26	N	- resistenza di progetto a "taglio compressione" [NTC18: 4.1.27]
$T_{Rd} \geq T_{ed}$			OK!
$T_{ed}/T_{Rcd} =$	0.131405		
$V_{Ed}/V_{Rcd} =$	0.1698		
$T_{ed}/T_{Rcd} + V_{Ed}/V_{Rcd} \leq 1$			OK! Non sono necessari armature supplementari!
• Verificare armatura trasversale :			
Asw/s =	0.044852729	mm ² /mm	OK! Non sono necessari armature supplementari!

12.4 Verifica limitazione armatura

Resta da verificare che l'armatura determinata in funzione delle sollecitazioni agenti rispetti le limitazioni riportate nel punto 7.4.6.2.1 delle NTC2018:

- almeno due barre di diametro non inferiore a 14 mm devono essere presenti superiormente e inferiormente per tutta la lunghezza della trave;
- in ogni sezione della trave, il rapporto geometrico ρ relativo all'armatura tesa, indipendentemente dal fatto che l'armatura tesa sia quella al lembo superiore della sezione A_s o quella al lembo inferiore della sezione A_i , deve essere compreso entro i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

dove:

ρ è il rapporto geometrico relativo all'armatura tesa pari ad $A_s/(b \cdot h)$ oppure ad $A_i/(b \cdot h)$;

ρ_{comp} è il rapporto geometrico relativo all'armatura compressa;

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	97 DI 225

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (in MPa).

In campata:

Armatura tesa

2 \emptyset 14 mm

Dimensioni sezione

b = 300 mm

h = 590 mm

$A_s = 308 \text{ mm}^2$

c = 55 mm

$\rho = A_s / (bh) = 0.00174$

Armatura compressa

3 \emptyset 16 mm

$A_s' = 603 \text{ mm}^2$

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.00341$

$1,4/f_{yk} = 0.003111$

$\rho_{comp} + 3,5/f_{yk} = 0.011127$

La verifica risulta soddisfatta.

Agli appoggi:

Armatura tesa

3 \emptyset 16 mm

Dimensioni sezione

b = 300 mm

h = 590 mm

$A_s = 603 \text{ mm}^2$

c = 55 mm

$\rho = A_s / (bh) = 0.00341$

Armatura compressa

2 \emptyset 14 mm

$A_s' = 308 \text{ mm}^2$

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.00174$

$1,4/f_{yk} = 0.003111$

$\rho_{comp} + 3,5/f_{yk} = 0.012802$

La verifica risulta soddisfatta.

- l'armatura compressa non deve essere mai inferiore ad un quarto di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0.25 \rho$$

Nel caso specifico risulta nella sezione in campata:

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.00174$

$0,25\rho = 0.000435$

La verifica risulta soddisfatta.

- nelle zone critiche della trave, inoltre, deve essere:

$$\rho_{comp} \geq 0.5 \rho$$

Le zone critiche si estendono, per CD" B", per una lunghezza pari a 1,5 volte l'altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro o da entrambi i lati a partire dalla sezione di prima plasticizzazione.

Nel caso specifico risulta:

$$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.00174$$

$$0,50\rho = 0.000870$$

La verifica risulta soddisfatta.

- Nelle zone critiche devono essere previste staffe di contenimento. La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non superiore alla minore tra le grandezze seguenti:

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale;
- 225 mm (per CD" B");
- 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali considerate ai fini delle verifiche (per CD" B");
- 24 volte il diametro delle armature trasversali.

Per staffa di contenimento si intende una staffa rettangolare, circolare o a spirale, di diametro minimo 6 mm, con ganci a 135° prolungati per almeno 10 diametri alle due estremità. I ganci devono essere assicurati alle barre longitudinali.

Nel caso specifico risulta:

$$d = 80mm \leq \begin{cases} \frac{h}{4} = 550/4 = 137.50mm \\ 225mm \\ 8 \cdot 16mm = 128mm \\ 24 \cdot 8 = 192mm \end{cases}$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti previsti per le travi in calcestruzzo in zona non sismica (punto 4.1.6.1.1 delle NTC2018):

- l'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

e comunque non minore di $0.0013 b_t \cdot d$

dove:

b_t rappresenta la larghezza media della zona tesa;

d è l'altezza utile della sezione;

f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione assiale;

f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 603 \text{ mm}^2 > \begin{cases} A_{s, \min} = 0.26 \cdot \frac{2.90}{450} \cdot 300 \cdot 550 = 251.34 \text{ mm}^2 \\ 0.0013 \cdot 300 \cdot 550 = 214.50 \text{ mm}^2 \end{cases}$$

- negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio;
- al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente $A_{s, \max} = 0,04 A_c$, essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

Nel caso in esame risulta:

$A_s =$	308.00	mm^2	La verifica risulta soddisfatta.
$A_s' =$	603.00	mm^2	La verifica risulta soddisfatta.
$0,04A_c =$	7080	mm^2	

- le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ essendo b lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione;

Nel caso in esame si hanno staffe $\Phi 8/15$, per cui risulta:

$$A_{st} = 502.4 \text{ mm}^2/\text{m} \geq A_{st, \min} = 1.5 \cdot 300 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$d = 150 \text{ mm} \leq \begin{cases} 333 \text{ mm} \\ 0.8 \cdot 550 = 440 \text{ mm} \end{cases}$$

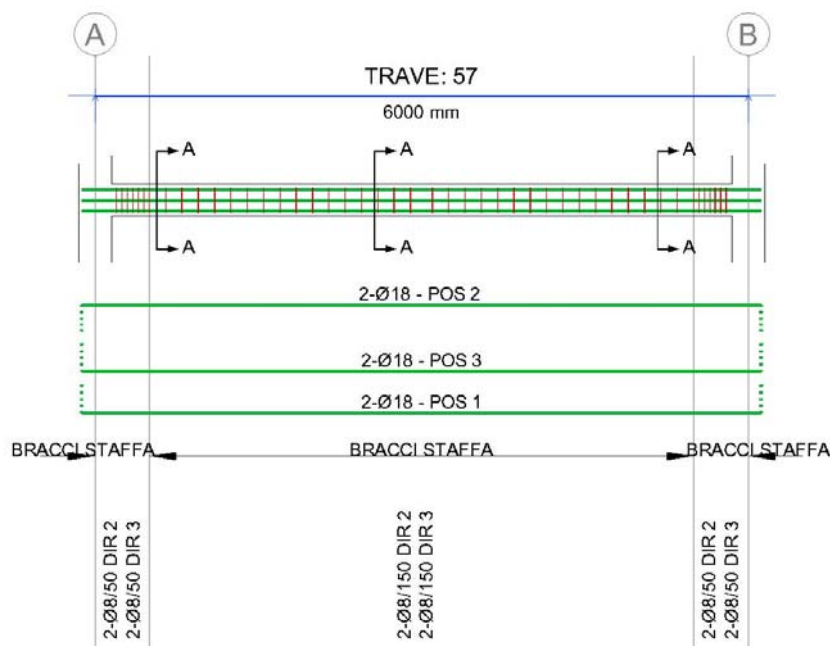
- in ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

Per le travi perimetrali dell'edificio l'armatura a taglio è costituita solamente da staffe.

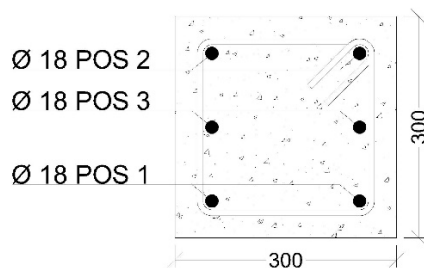
Si riscontra, pertanto, che l'armatura della trave rispetta i limiti prescritti dalle NTC2018.

13 VERIFICHE TIRANTE FILO FISSO 4

Di seguito è schematizzata la distribuzione di armature longitudinali e staffe per il tirante inferiore della capriata corrispondente al filo fisso 4.



Sez. A-A



Come già detto al § 8.7, si assume che la struttura sia in Classe di Duttività Bassa (CDB), pertanto la zona critica della trave si estende per una lunghezza pari a 1 volta l'altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro (§ 7.4.6.1.1 NTC 2018).

In definitiva dunque si assume un'Altezza Critica di 500 mm.

Le verifiche di resistenza e gerarchia, così come il controllo tensione e fessurazione per gli stati limite di esercizio, vengono condotte con il software RC-SEC.



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	101 DI 225

13.1 Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle travi secondarie aventi sezione rettangolare di dimensioni 30x30 cm. Le verifiche saranno condotte per i differenti stati limiti ed in corrispondenza delle sezioni maggiormente sollecitate dell'elemento per effetto della combinazione di carico più gravose.

Qui di seguito si riportano le sollecitazioni minime e massime per gli SLU, SLV, SLD, SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLU-SLV									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
58	0.15	QKE2	130.298	-12.958	0	0	-0.1975	-23.6986	min V2
58	5.85	QKE2	130.298	12.958	0	0	0.1975	13.6105	max V2
55	0.15	QKE2	136.947	-9.776	-1.089	-0.0237	-3.4094	-14.6801	min V3
72	4.425	QKE2	138.372	6.569	1.089	0.0237	1.8572	6.5551	max V3
60	3.73636	QKE2	81.03	3.472	0.816	0.0283	0.678	3.9165	min T
60	0.3	QKE2	76.859	-7.89	-0.816	-0.0283	-2.852	-9.9164	max T
55	5.85	QKE2	136.947	3.049	-1.089	-0.0237	-3.4094	-14.6801	min M2
72	0.15	QKE2	138.372	-3.049	1.089	0.0237	3.4094	4.4942	max M2
58	0.15	QKE2	130.298	-12.958	0	0	-0.1975	-23.6986	min M3
58	5.85	QKE2	130.298	12.958	0	0	0.1975	13.6105	max M3

Sollecitazioni SLD									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
58	0.15	SLD2	130.298	-9.809	0	0	-0.1025	-14.7243	min V2
58	5.85	SLD2	130.298	9.809	0	0	0.1025	4.6361	max V2
55	5.85	SLD2	137.287	4.667	-0.565	-0.0123	-1.8322	-10.0679	min V3
72	3.95	SLD2	138.032	3.883	0.565	0.0123	0.7582	4.6887	max V3
54	5.20909	SLD2	77.86	4.029	-0.423	-0.0147	-0.8377	-4.3844	min T
54	2.75455	SLD2	80.029	0.389	0.423	0.0147	0.5788	3.3523	max T
55	5.85	SLD2	137.287	4.667	-0.565	-0.0123	-1.8322	-10.0679	min M2
72	0.15	SLD2	138.032	-4.667	0.565	0.0123	1.8322	-0.118	max M2
58	5.85	SLD2	130.298	3.016	0	0	-0.1025	-14.7243	min M3
58	1.575	SLD2	130.298	0.19	0	0	0.1025	6.6494	max M3

Sollecitazioni SLE rara									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	102 DI 225

Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
54	5.7	SLE_r_4	60.485	3.871	-0.324	-0.0107	-0.5598	-10.9859	min M3
54	3.73636	SLE_r_4	91.31	3.861	0.324	0.0107	0.5931	4.1927	max M3

Sollecitazioni SLE frequente

Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
54	5.7	SLE_f_4	74.36	5.634	-0.065	-0.0021	0.1137	-6.205	min M3
58	3	SLE_f_3	136.811	0	0	0	0.0139	4.1084	max M3

Sollecitazioni SLE quasi permanente

Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
55	5.85	SLE_qp	137.659	6.412	0	0	-0.1308	-5.093	min M3
58	3	SLE_qp	130.298	0	0	0	0	4.0937	max M3

• **Verifica di resistenza allo SLU**

Si riportano di seguito le sollecitazioni di calcolo, per l'elemento maggiormente sollecitato, in corrispondenza della sezione d'appoggio e della sezione di campata (convenzione sui segni: compressione negativa (-), momento flettente che tende le fibre superiori negativo (-)).

• **Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE**

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame, essendo in fabbricato di classe d'uso II come riportato in Tabella 7.3III §7 delle NTC2018, le verifiche agli SLE si effettuano solo in termini di rigidità.

c) **Verifiche di fessurazione:**

Per assicurare la funzionalità e la durata della struttura è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2018 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo *stato limite di apertura delle fessure*. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di

calcolo di apertura delle fessure (w_d) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- La verifica fessurazione è condotta cautelativamente con limie $w = 0.2$ mm in combinazione caratteristica.

d) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2018. In particolare bisogna verificare che:

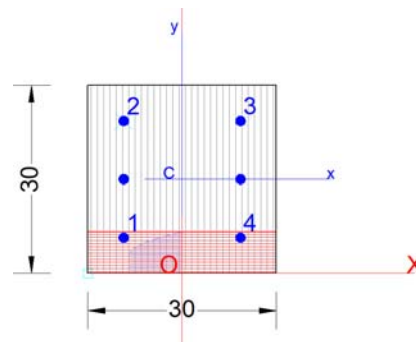
- Per il calcestruzzo compresso:
 - $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ (per combinazione caratteristica rara);
 - $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ (per combinazione quasi permanente);
- Per l'acciaio:
 - $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ (per combinazione caratteristica rara).

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso distinguendo tra combinazioni rare e quasi permanenti. Dalle tabelle seguenti, nelle quali accanto a ciascun valore di tensione viene indicato il corrispondente valore limite, si evince che le verifiche delle tensioni di esercizio risultano soddisfatte.

In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale della trave perimetrale tipo:

1) Zone d'appoggio:

- Armatura superiore $2 \Phi 18$
- Armatura inferiore $2 \Phi 18$
- Armatura laterale $2 \Phi 18$





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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	104 DI 225

Section description:

Section type: Beam without stirrups
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	0.0
2	-15.0	30.0
3	15.0	30.0
4	15.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.3	5.7	16
2	-9.3	24.3	16
3	9.3	24.3	16
4	9.3	5.7	16

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	105 DI 225

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	1	1	16
2	3	4	1	16

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	-23.70	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-11.00	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-6.21 (-15.05)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-5.10 (-15.05)	0.00 (0.00)

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	107 DI 225

1 1 OK 3.96 (18.0) 0.0 0.0 -106.3 (360.0) 9.3 24.3 210 4.0 0.019

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}

Check Result of check

e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section

e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section

k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]

kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]

k2 = 0.5 for bending; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]

k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex

k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex

Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]

e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es

sr max Max final crack [mm] spacing

wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets

MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]

MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00073	0	0.500	16.0	0.00032 (0.00032)	309	0.098	-15.05	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.24 (18.0)	0.0	0.0	-60.0 (360.0)	9.3	24.3	210	4.0	0.019

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00041	0	0.500	16.0	0.00018 (0.00018)	309	0.056 (0.40)	-15.05	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.84 (13.5)	0.0	0.0	-49.3 (360.0)	9.3	24.3	210	4.0	0.019

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00034	0	0.500	16.0	0.00015 (0.00015)	309	0.046 (0.30)	-15.05	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL [§ 7.3.2 EC2]

Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

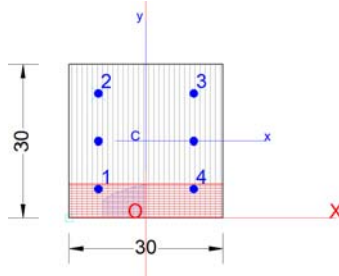
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	108 DI 225

Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.40	450	0.00	0.00	0.67	---	8.0	1.4
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	450	0.00	0.00	0.67	---	8.0	1.4

2) Campata:

- Armatura superiore 2 Φ 18
- Armatura inferiore 2 Φ 18
- Armatura laterale 2 Φ 18



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Sezione_Campata.secEC

Section description:

Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	109 DI 225

Es/Ec in SLS combination:	15.00	
Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0	kN/cm ²
Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0	daN/cm ²
Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400	mm
Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50	Mpa
Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300	mm

STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal
Concrete Class:	C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	0.0
2	-15.0	30.0
3	15.0	30.0
4	15.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.3	5.7	16
2	-9.3	24.3	16
3	9.3	24.3	16
4	9.3	5.7	16

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen.	Number of generated bars of the current linear generation
N.Initial Bar	Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
N.Final Bar	Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
N. Bars	Number of bars generated equidistant in the current generation
Ø	Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	1	1	16
2	3	4	1	16

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system
VY d	Design shear component [kN] parallel to Y reference axis

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
---------	-----	------	------



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	110 DI 225

1	0.00	13.61	0.00
---	------	-------	------

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	4.20	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	4.11 (15.05)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	4.10 (15.05)	0.00 (0.00)

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: 4.9 cm
 Min distance between longitudinal bars: 7.7 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	13.61	0.00	51.96	3.818	8.0(1.2)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	111 DI 225

Ys max Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
 Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00327	-15.0	30.0	0.00050	-9.3	24.3	-0.00929	-9.3	5.7

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: $aX+bY+c=0$ reference X,Y,O
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000526207	-0.012286202	0.274	0.782

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinate, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinate, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.51 (18.0)	-15.0	30.0	-40.6 (360.0)	9.3	5.7	210	4.0	0.019

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}
 Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
 k2 = 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
 MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00028	0	0.500	16.0	0.00012 (0.00012)	309	0.038	15.05	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	112 DI 225

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.48 (18.0)	-15.0	30.0	-39.7 (360.0)	9.3	5.7	210	4.0	0.019

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00027	0	0.500	16.0	0.00012 (0.00012)	309	0.037 (0.40)	15.05	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.48 (13.5)	-15.0	30.0	-39.6 (360.0)	9.3	5.7	210	4.0	0.019

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00027	0	0.500	16.0	0.00012 (0.00012)	309	0.037 (0.30)	15.05	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.40	450	0.00	0.00	1.50	---	4.0	1.4
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	450	0.00	0.00	1.50	---	4.0	1.4

13.2 Verifiche SLU – Taglio (gerarchia)

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio di calcolo V_{Ed} si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi gravitazionali agenti sulla trave, considerata incernierata agli estremi, alle sollecitazioni di taglio corrispondenti alla formazione di cerniere plastiche nella trave e prodotte dai momenti resistenti (ultimi) delle due sezioni di plasticizzazione (generalmente quelle di estremità) amplificati del fattore di sovra resistenza γ_{Rd} assunto pari a 1.0 per CDB.

Deve risultare (NTC2018 – 4.1.2.3.5.1):

$$V_{Rd} > V_d$$

dove:

V_d = Valore di calcolo del taglio agente;

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

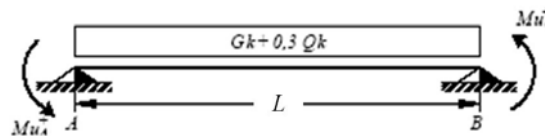
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg }^2 \theta)$$

dove:

α : Angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

θ : Angolo d'inclinazione dei puntoni in calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento.

• **1° Schema:**

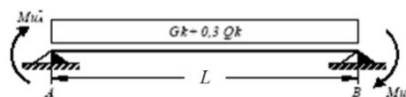


Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu^+_A + Mu^+_B}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^+_A + Mu^+_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

• **2° Schema:**



Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

Si riporta di seguito un prospetto riepilogativo con i valori delle sollecitazioni taglienti ottenute seguendo la metodologia descritta e riportata negli schemi precedenti:

Determinazione		



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 114 DI 225

taglio di calcolo						
Base	0.30	m	$M_{uA}^{(+)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uA}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(+)}$ (kNm)
Altezza	0.30	m	51.96	51.96	51.96	51.96
L_{trave}	6.00	m				
$L_{influenza}$	0.00	m	1° Schema		2° Schema	
Peso proprio trave	2.25	kN/m	V_A (kN)	V_B (kN)	V_A (kN)	V_B (kN)
Carico solaio	2.00	kN/m ²	40.27	5.63	40.27	5.63
Carico perm. non strutt.	3.40	kN/m ²				
G_k	7.65	kN/m	$V_{SAP(output)}$ =	12.96	kN	
γ_Q	0.30	[-]	V_{Ed} =	12.96	kN	
Q_k	0.00	kN/m				
γ_{Rd}	1.00	[-]				

Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
58	0.15	QKE2	130.298	-12.958	0	0	-0.1975	-23.6986	min V2
58	5.85	QKE2	130.298	12.958	0	0	0.1975	13.6105	max V2

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è più alto del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000, si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:

$$V_{Ed-max} = 40.27 \text{ kN}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 300$ mm	larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa	resist. caratteristica
$h = 300$ mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$	coeff. sicurezza
$c = 57$ mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$ MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:	
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 2 \text{ } \emptyset 16$	= 4.02 cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0$	= 0.00 cm ²
$d = 243$ mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0$	= 0.00 cm ²
$f_{cd} = 17.00$ MPa	resist. di calcolo		4.02 cm ²

• **Sollecitazioni** (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 40.3 \text{ kN}$$

• **Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.907$	< 2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.505$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.006$	< 0.02



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	115 DI 225

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2f_{cd} \qquad \sigma_{cp} = 0.00 \qquad \text{MPa} \qquad < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 42.5 \text{ kN}; \qquad \text{(con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 36.8 \text{ kN)}$$

$$V_{Rd} = 42.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

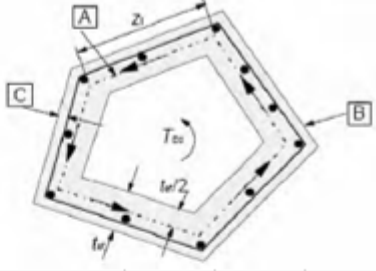
la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

$$V_{Ed-max} = 40.27 \text{ kN} < V_{Rd} = 43.8 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Si adotteranno nelle zone d'appoggio, per un tratto pari ad 0,50 m dal pilastro, staffe $\emptyset 8 / 5$ cm, mentre nelle zone centrali di campata rimanenti staffe $\emptyset 8 / 15$ cm.

13.3 Verifiche SLU – Torsione

<u>Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti NTC2018 4.1.2.3.6</u>			
			
• Materiali:			
Calcestruzzo			
	C30/37		- seleziona calcestruzzo
$f_{ck} =$	30	Mpa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		
$\gamma_c =$	1.5		
$f_{cd} =$	17.0000	Mpa	
$f'_{cd} =$	8.50000	Mpa	
Acciaio			
$f_{yk} =$	450	Mpa	
$\gamma_s =$	1.15		
$f_{yd} =$	391.30	Mpa	
$f_{ywd} =$	360.00	Mpa	
• Forze di progetto:			
$T_{Ed} =$	1000000	N*mm	- momento torsionale di progettazione
$V_{Ed} =$	40270	N	- forza di taglio di progettazione
• Proprietà sezione:			
$b =$	300	mm	- larghezza di sezione
$h =$	300	mm	- altezza di sezione
$c =$	40	mm	- calcestruzzo copriferro(netto)
$d =$	260	mm	- altezza utile
$A =$	90000	mm ²	
$u =$	1200	mm	
$c_{minf} =$	57	mm	- calcestruzzo copriferro al baricentro del rinforzo
$\min t_w =$	114.00	mm	
$t_w =$	114.00	mm	- è lo spessore della sezione cava
$t_w/2 =$	57.00	mm	
$A_k =$	34596.00	mm ²	- area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico
$u_k =$	744.00	mm	- perimetro medio del nucleo resistente
$z_i =$	186.00	mm	

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	117 DI 225

• Armatura di progetto:			
$\Sigma A_{s, long} =$	1210	mm ²	- area complessiva delle barre longitudinali
staffe $\phi =$	8	mm	
№ bracci (trasv)=	2		
s =	50	mm	- passo delle staffe
A _{sw} /s =	2.01	mm ² /mm	- staffe disponibili
• Resistenza torsionale e taglio NTC18 [4.1.34], [4.1.35]:			
longitudinali, il corente compresso di calcestruzzo e i puntori d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntori di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti: 1 ≤ ctg θ ≤ 2,5 [4.1.25]			
$\theta =$	22	deg.	
cotg $\theta =$	2.48		
$\alpha =$	90.00	deg	- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
cotg $\alpha =$	0.00		
$\alpha_c =$	1.00		- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave (1 per membrature non compresse)
T _{Rcd} =	23287396.55	N*mm	- Con riferimento al calcestruzzo la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.35]
T _{Rsd} =	134738233.00	N*mm	- Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.36]
T _{Rtd} =	17790680.03	N*mm	- Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.37]
T _{Rd} =	17790680.03	N*mm	- min(T _{Rcd} , T _{Rsd} , T _{Rtd})
V _{Rcd} =	207251.32	N	- resistenza di progetto a "taglio compressione" [NTC18: 4.1.27]
	T _{Rd} ≥ T _{Ed}		OK!
	T _{Ed} /T _{Rcd} =	0.042942	
	V _{Ed} /V _{Rcd} =	0.1943	
	T _{Ed} /T _{Rcd} + V _{Ed} /V _{Rcd} ≤ 1		OK! Non sono necessari armature supplementari!
• Verificare armatura trasversale :			
	A _{sw} /s =	0.014922411	mm ² /mm OK! Non sono necessari armature supplementari!

13.4 Verifica limitazione armatura

Resta da verificare che l'armatura determinata in funzione delle sollecitazioni agenti rispetti le limitazioni riportate nel punto 7.4.6.2.1 delle NTC2018:

- almeno due barre di diametro non inferiore a 14 mm devono essere presenti superiormente e inferiormente per tutta la lunghezza della trave;
- in ogni sezione della trave, il rapporto geometrico ρ relativo all'armatura tesa, indipendentemente dal fatto che l'armatura tesa sia quella al lembo superiore della sezione A_s o quella al lembo inferiore della sezione A_i , deve essere compreso entro i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

dove:

ρ è il rapporto geometrico relativo all'armatura tesa pari ad $A_s/(b \cdot h)$ oppure ad $A_i/(b \cdot h)$;

ρ_{comp} è il rapporto geometrico relativo all'armatura compressa;

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	118 DI 225

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (in MPa).

In campata:

Armatura tesa

2 Ø 16 mm

Dimensioni sezione

b = 300 mm

h = 300 mm

$A_s = 402 \text{ mm}^2$

c = 57 mm

$\rho = A_s / (bh) = 0.004467$

Armatura compressa

2 Ø 16 mm

$A_s' = 402 \text{ mm}^2$

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.004467$

$1,4/f_{yk} = 0.003111$

$\rho_{comp} + 3,5/f_{yk} = 0.011127$

La verifica risulta soddisfatta.

Agli appoggi:

Armatura tesa

2 Ø 16 mm

Dimensioni sezione

b = 300 mm

h = 300 mm

$A_s = 402 \text{ mm}^2$

c = 57 mm

$\rho = A_s / (bh) = 0.004467$

Armatura compressa

2 Ø 16 mm

$A_s' = 402 \text{ mm}^2$

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.004467$

$1,4/f_{yk} = 0.003111$

$\rho_{comp} + 3,5/f_{yk} = 0.012802$

La verifica risulta soddisfatta.

- l'armatura compressa non deve essere mai inferiore ad un quarto di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0.25 \rho$$

Nel caso specifico risulta nella sezione in campata:

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) = 0.004467$

$0,25\rho = 0.001117$

La verifica risulta soddisfatta.

- nelle zone critiche della trave, inoltre, deve essere:

$$\rho_{comp} \geq 0.5 \rho$$

Le zone critiche si estendono, per CD" B", per una lunghezza pari a 1,5 volte l'altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro o da entrambi i lati a partire dalla sezione di prima plasticizzazione.

Nel caso specifico risulta:

$$\rho_{comp} = A_s / (bh) = 0.004467$$

$$0,50\rho = 0.002234$$

La verifica risulta soddisfatta.

- Nelle zone critiche devono essere previste staffe di contenimento. La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non superiore alla minore tra le grandezze seguenti:

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale;
- 225 mm (per CD" B");
- 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali considerate ai fini delle verifiche (per CD" B");
- 24 volte il diametro delle armature trasversali.

Per staffa di contenimento si intende una staffa rettangolare, circolare o a spirale, di diametro minimo 6 mm, con ganci a 135° prolungati per almeno 10 diametri alle due estremità. I ganci devono essere assicurati alle barre longitudinali.

Nel caso specifico risulta:

$$d = 80mm \leq \begin{cases} \frac{h}{4} = 300/4 = 75mm \\ 225mm \\ 8 \cdot 16mm = 128mm \\ 24 \cdot 8 = 192mm \end{cases}$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti previsti per le travi in calcestruzzo in zona non sismica (punto 4.1.6.1.1 delle NTC2018):

- l'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

e comunque non minore di $0.0013 b_t \cdot d$

dove:

b_t rappresenta la larghezza media della zona tesa;

d è l'altezza utile della sezione;

f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione assiale;

f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 402 \text{ mm}^2 > \begin{cases} A_{s, \min} = 0.26 \cdot \frac{2.90}{450} \cdot 300 \cdot 260 = 130.70 \text{ mm}^2 \\ 0.0013 \cdot 300 \cdot 260 = 101.40 \text{ mm}^2 \end{cases}$$

- negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio;
- al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente $A_{s, \max} = 0,04 A_c$, essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

Nel caso in esame risulta:

$A_s =$	308.00	mm^2	La verifica risulta soddisfatta.
$A_s' =$	308.00	mm^2	La verifica risulta soddisfatta.
$0,04A_c =$	7080	mm^2	

- le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ essendo b lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione;

Nel caso in esame si hanno staffe $\Phi 8/15$, per cui risulta:

$$A_{st} = 670 \text{ mm}^2/\text{m} \geq A_{st, \min} = 1.5 \cdot 300 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$d = 150 \text{ mm} \leq \begin{cases} 333 \text{ mm} \\ 0.8 \cdot 260 = 208 \text{ mm} \end{cases}$$

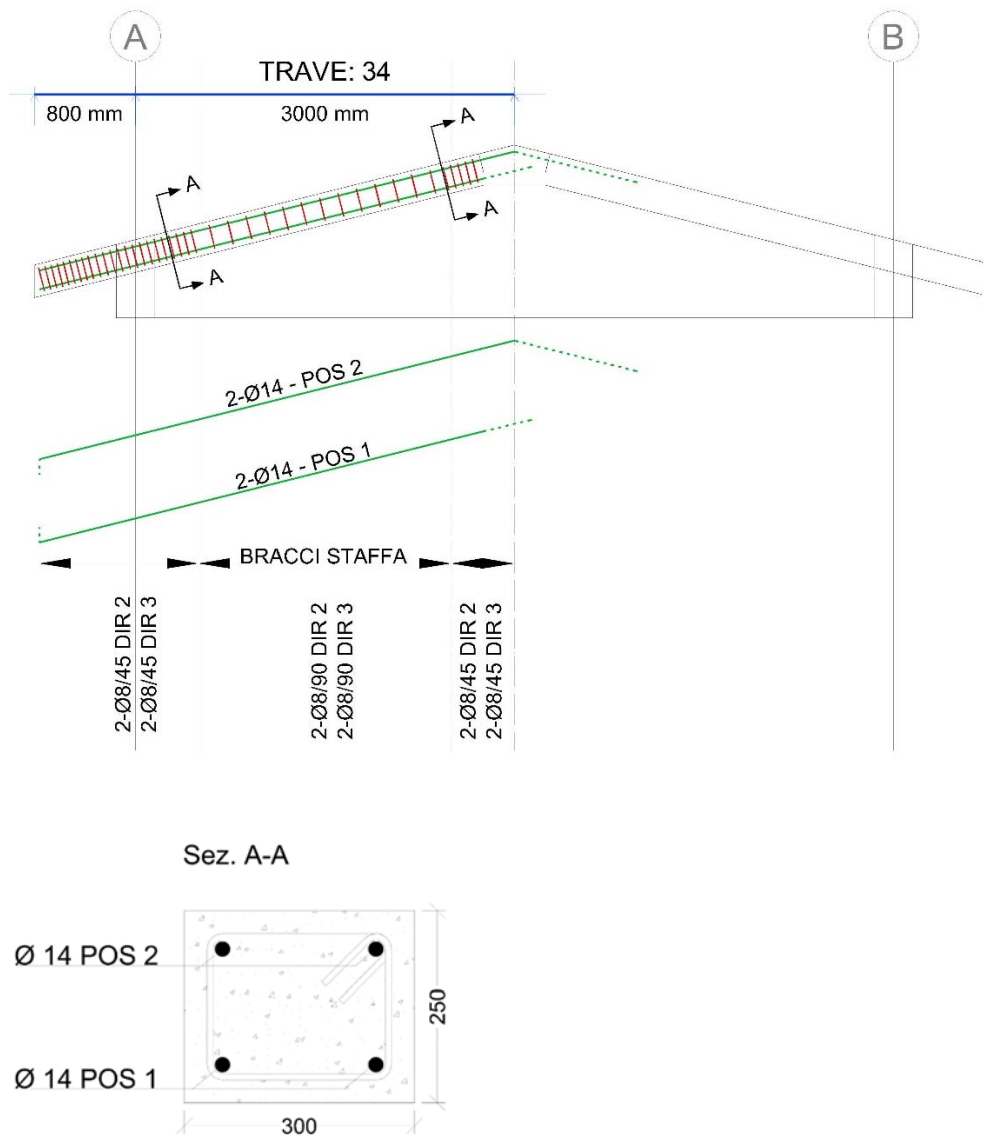
- in ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

Per le travi perimetrali dell'edificio l'armatura a taglio è costituita solamente da staffe.

Si riscontra, pertanto, che l'armatura della trave rispetta i limiti prescritti dalle NTC2018.

14 VERIFICHE CORRENTE SUPERIORE FILO FISSO 1

Di seguito è schematizzata la distribuzione di armature longitudinali e staffe per il corrente superiore della capriata corrispondente al filo fisso 1.



Come già detto al § 8.7, si assume che la struttura sia in Classe di Duttività Bassa (CDB), pertanto la zona critica della trave si estende per una lunghezza pari a 1 volta l'altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro (§ 7.4.6.1.1 NTC 2018).

In definitiva dunque si assume un'Altezza Critica di 300 mm.



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

FA04 - Fabbriato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbriato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	122 DI 225

Le verifiche di resistenza e gerarchia, così come il controllo tensione e fessurazione per gli stati limite di esercizio, vengono condotte con il software RC-SEC.

14.1 Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle travi secondarie aventi sezione rettangolare di dimensioni 30x25cm. Le verifiche saranno condotte per i differenti stati limiti ed in corrispondenza delle sezioni maggiormente sollecitate dell'elemento per effetto della combinazione di carico più gravose.

Qui di seguito si riportano le sollecitazioni minime e massime per gli SLU, SLV, SLD, SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLU-SLV									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
36	0	SLU_3	-255.093	-14.197	-0.551	-1.4804	-1.1897	-18.0264	min V2
37	3.09233	SLU_3	-225.327	14.197	0.551	1.4804	2.4633	-14.3439	max V2
34	0	QKE1	-94.735	-7.124	-11.177	1.8526	-15.1669	-8.4485	min V3
35	3.09233	QKE1	-83.445	7.124	11.177	-1.8526	10.8177	-6.0889	max V3
35	3.09233	SLU_3	-151.768	8.459	2.487	-4.4977	-5.1693	-15.0337	min T
34	3.09233	SLU_3	-131.24	-1.146	-2.487	4.4977	10.1428	8.6322	max T
46	3.09233	QKE1	-93.329	-1.499	-6.663	-3.1475	-19.3951	3.9872	min M2
35	0	QKE1	-82.039	1.499	11.177	-1.8526	19.3951	5.0541	max M2
42	0	QKE2	-151.47	-11.711	-2.768	-0.072	-4.1473	-19.7809	min M3
37	0	SLU_3	-223.499	6.885	0.551	1.4804	0.5154	14.7892	max M3

Sollecitazioni SLD									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
42	0	SLD2	-146.7	-10.065	-1.437	-0.0376	-2.1536	-14.8034	min V2
43	3.09233	SLD2	-136.41	10.065	1.437	0.0376	2.1536	-4.0652	max V2
34	0	SLD1	-92.027	-6.885	-6.888	2.1635	-8.9206	-7.8815	min V3
46	0	SLD1	-86.153	-6.365	6.888	-2.1635	8.9206	-6.6559	max V3
46	0	SLD1	-92.027	-6.885	-2.374	-2.8366	-4.5713	-7.8815	min T
47	3.09233	SLD1	-86.153	6.885	2.374	2.8366	8.9206	-6.6559	max T
46	3.09233	SLD1	-90.621	-1.26	-2.374	-2.8366	-12.3802	4.2432	min M2
35	0	SLD1	-84.747	1.26	6.888	-2.1635	12.3802	4.798	max M2
43	3.09233	SLD2	-146.7	6.515	-1.437	-0.0376	-2.1536	-14.8034	min M3
37	0	SLD2	-145.823	4.004	2.899	0.3868	4.3995	8.2737	max M3



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	123 DI 225

Sollecitazioni SLE rara									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
36	0	SLE_r_3	-186.117	-10.425	-0.266	-1.023	-0.6676	-13.0121	min M3
36	3.09233	SLE_r_3	-164.987	-3.671	1.408	-0.3654	0.1552	10.6556	max M3

Sollecitazioni SLE frequente									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
36	0	SLE_f_3	-157.18	-9.03	0.306	-0.4823	0.2084	-10.5995	min M3
36	3.09233	SLE_f_3	-151.997	-3.235	0.41	-0.3563	-0.7368	8.6277	max M3

Sollecitazioni SLE quasi permanente									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
36	0	SLE_qp	-150.053	-8.717	0.298	-0.3489	0.2038	-10.1203	min M3
36	3.09233	SLE_qp	-148.647	-3.092	0.298	-0.3489	-0.7191	8.137	max M3

• **Verifica di resistenza allo SLU**

Si riportano di seguito le sollecitazioni di calcolo, per l'elemento maggiormente sollecitato, in corrispondenza della sezione d'appoggio e della sezione di campata (convenzione sui segni: compressione negativa (-), momento flettente che tende le fibre superiori negativo (-)).

• **Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE**

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame, essendo in fabbricato di classe d'uso II come riportato in Tabella 7.3III §7 delle NTC2018, le verifiche agli SLE si effettuano solo in termini di rigidità.

e) **Verifiche di fessurazione:**

Per assicurare la funzionalità e la durata della struttura è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	124 DI 225

- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2018 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo *stato limite di apertura delle fessure*. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- La verifica fessurazione è condotta cautelativamente con limie $w = 0.2$ mm in combinazione caratteristica.

f) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2018. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:
 $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ (per combinazione caratteristica rara);
 $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ (per combinazione quasi permanente);
- Per l'acciaio:
 $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ (per combinazione caratteristica rara).

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso distinguendo tra combinazioni rare e quasi permanenti. Dalle tabelle seguenti, nelle quali accanto a ciascun valore di tensione viene indicato il corrispondente valore limite, si evince che le verifiche delle tensioni di esercizio risultano soddisfatte.

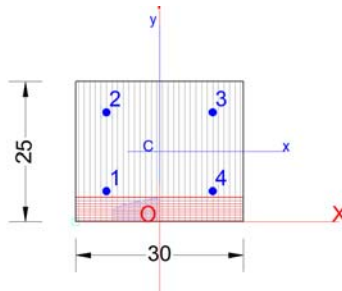
In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale della trave perimetrale tipo:

1) Zone d'appoggio/campata:

- Armatura superiore 2 Φ 14
- Armatura inferiore 2 Φ 14

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	125 DI 225



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

 Section Name: [Support section.secEC](#)

Section description:	
Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa	

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal
Concrete Class:	C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	0.0
2	-15.0	25.0
3	15.0	25.0
4	15.0	0.0



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	126 DI 225

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.5	5.5	14
2	-9.5	19.5	14
3	9.5	19.5	14
4	9.5	5.5	14

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Design bending force [kNm] around X axis of reference system Design shear component [kN] parallel to Y reference axis		
	MX d	VY d	
1	0.00	-19.78	0.00
2	0.00	15.00	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive) Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
	N	Mx	My
1	0.00	-14.00	0.00
2	0.00	10.70	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive) Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
	N	Mx	My
1	0.00	-10.00 (-10.10)	0.00 (0.00)
2	0.00	8.70 (10.10)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive) Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
	N	Mx	My
1	0.00	-11.00 (-10.10)	0.00 (0.00)
2	0.00	8.20 (10.10)	0.00 (0.00)

CHECKS RESULTS



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	127 DI 225

Min edge cover of longitudinal bars: 4.8 cm
 Min distance between longitudinal bars: 12.6 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check Result of check
 N Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 Mx Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
 N ult Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
 Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
 S.F. Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
 As Tension Area [cm²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	-19.78	0.00	-23.46	1.186	3.1(1.0)
2	OK	0.00	15.00	0.00	23.46	1.564	3.1(1.0)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max Ultimate compressive strain in concrete
 ec* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
 Xc max X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 Yc max Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs max X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 Ys max Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
 Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00516	-15.0	0.0	-0.00095	-9.5	5.5	-0.01226	-9.5	19.5
2	0.00350	-0.00516	-15.0	25.0	-0.00095	-9.5	19.5	-0.01226	-9.5	5.5

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	-0.000808409	0.003500000	0.222	0.718
2	0.000000000	0.000808409	-0.016710218	0.222	0.718

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stess (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	128 DI 225

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	8.23 (18.0)	-15.0	30.0	-263.7 (360.0)	9.5	19.5	192	3.1	0.016
2	1	OK	6.29 (18.0)	-15.0	25.0	-201.6 (360.0)	-9.5	5.5	192	3.1	0.016

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}
e1	Result of check
e2	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
k1	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
kt	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
k2	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k3	= 0.5 for bending; = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
\emptyset	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
e sm - e cm	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
sr max	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
wk	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 S_{max} / E_s$
MX crack	Max final crack [mm] spacing
MY crack	Calculated value [mm] of crack width = $sr \cdot max \cdot (e \cdot sm - e \cdot cm)$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
	First cracking bending moment around X axis[kNm]
	First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	\emptyset	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00186	0	0.500	14.0	0.00079 (0.00079)	311	0.246	-10.10	0.00
2	OK	-0.00143	0	0.500	14.0	0.00060 (0.00060)	311	0.188	10.10	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	5.88 (18.0)	-15.0	30.0	-188.4 (360.0)	9.5	19.5	192	3.1	0.016
2	1	OK	5.12 (18.0)	-15.0	25.0	-163.9 (360.0)	-9.5	5.5	192	3.1	0.016

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	\emptyset	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00133	0	0.500	14.0	0.00057 (0.00057)	311	0.176 (0.40)	-10.10	0.00
2	OK	-0.00116	0	0.500	14.0	0.00049 (0.00049)	311	0.153 (0.40)	10.10	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	6.47 (13.5)	-15.0	30.0	-207.2 (360.0)	9.5	19.5	192	3.1	0.016
2	1	OK	4.82 (13.5)	-15.0	25.0	-154.5 (360.0)	-9.5	5.5	192	3.1	0.016

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	\emptyset	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00147	0	0.500	14.0	0.00064 (0.00062)	311	0.199 (0.30)	-10.10	0.00
2	OK	-0.00109	0	0.500	14.0	0.00046 (0.00046)	311	0.144 (0.30)	10.10	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	129 DI 225

Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.40	375	---	---	---	-53.77	3.1	1.2
2	Frequent	1 (Web)	1.00	0.40	375	---	---	---	-46.78	3.1	1.2
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	375	---	---	---	-59.15	3.1	1.2
2	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	375	---	---	---	-44.09	3.1	1.2

14.2 Verifiche SLU – Taglio (gerarchia)

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio di calcolo V_{Ed} si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi gravitazionali agenti sulla trave, considerata incernierata agli estremi, alle sollecitazioni di taglio corrispondenti alla formazione di cerniere plastiche nella trave e prodotte dai momenti resistenti (ultimi) delle due sezioni di plasticizzazione (generalmente quelle di estremità) amplificati del fattore di sovra resistenza γ_{Rd} assunto pari a 1.0 per CDB.

Deve risultare (NTC2018 – 4.1.2.3.5.1):

$$V_{Rd} > V_d$$

dove:

V_d = Valore di calcolo del taglio agente;

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a “taglio trazione” si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a “taglio compressione” si calcola con:

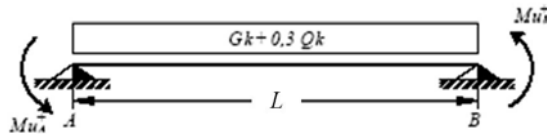
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg }^2 \theta)$$

dove:

α : Angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

θ : Angolo d'inclinazione dei puntoni in calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento.

- **1° Schema:**

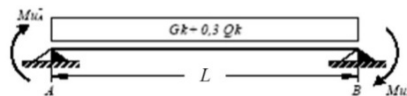


Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu^+_A + Mu^+_B}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^+_A + Mu^+_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

• 2° Schema:



Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

Si riporta di seguito un prospetto riepilogativo con i valori delle sollecitazioni taglianti ottenute seguendo la metodologia descritta e riportata negli schemi precedenti:

Determinazione taglio di calcolo							
Base	0.30	m	$M_{uA}^{(+)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uA}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(+)}$ (kNm)	
Altezza	0.25	m	23.46	23.46	23.46	23.46	
L_{trave}	3.10	m					
$L_{influenza}$	0.00	m	1° Schema		2° Schema		
Peso proprio trave	1.875	kN/m	V_A (kN)	V_B (kN)	V_A (kN)	V_B (kN)	
Carico solaio	2.00	kN/m ²	26.42	3.86	26.42	3.86	
Carico perm. non strutt.	3.40	kN/m ²					
G_k	7.275	kN/m	$V_{SAP(output)}$ =	15.00	kN		
γ_α	0.30	[-]	V_{Ed} =	15.00	kN		
Q_k	0.00	kN/m					
γ_{Rd}	1.00	[-]					



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGGIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 131 DI 225

Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
36	0	SLU_3	-254.997	-14.167	-0.446	-1.4803	-1.0332	-17.9197	min V2
37	3.09233	SLU_3	-225.412	14.167	0.446	1.4803	2.2623	-14.4495	max V2

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è più alto del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000, si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:

$$V_{Ed-max} = 26.42 \text{ kN}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 300$ mm	larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa	resist. caratteristica
$h = 250$ mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$	coeff. sicurezza
$c = 55$ mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$ MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:	
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 2 \text{ } \emptyset 14$	$= 3.08 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 195$ mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 17.00$ MPa	resist. di calcolo		3.08 cm^2

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 27.0 \text{ kN}$$

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 2.000 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.542$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.005 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 35.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 31.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 35.2 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

$$V_{Ed-max} = 26.42 \text{ kN} < V_{Rd} = 36.60 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Si adatteranno nelle zone d'appoggio, per un tratto pari ad 0,80 m dal pilastro, staffe $\emptyset 8 / 4.5$ cm, mentre nelle zone centrali di campata rimanenti staffe $\emptyset 8 / 9$ cm.



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

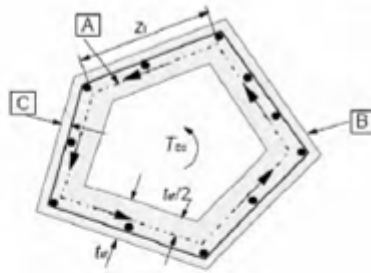
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	132 DI 225

14.3 Verifiche SLU – Torsione

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	133 DI 225

Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti NTC2018 4.1.2.3.6

• Materiali:
Calcestruzzo
C30/37

- seleziona calcestruzzo

 $f_{ck} = 30$ Mpa

 $\alpha_{cc} = 0.85$
 $\gamma_c = 1.5$
 $f_{cd} = 17.0000$ Mpa

 $f'_{cd} = 8.50000$ Mpa

Acciaio
 $f_{yk} = 450$ Mpa

 $\gamma_s = 1.15$
 $f_{yd} = 391.30$ Mpa

 $f_{ywd} = 360.00$ Mpa

• Forze di progetto:
 $T_{ed} = 4498000$ N*mm - momento torsionale di progettazione

 $V_{ed} = 26420$ N - forza di taglio di progettazione

• Proprietà sezione:
 $b = 300$ mm - larghezza di sezione

 $h = 250$ mm - altezza di sezione

 $c = 40$ mm - calcestruzzo copriferro(netto)

 $d = 210$ mm - altezza utile

 $A = 75000$ mm²
 $u = 1100$ mm

 $c_{minf} = 55$ mm - calcestruzzo copriferro al baricentro del rinforzo

 $\min t_w = 110.00$ mm

 $t_w = 110.00$ mm - è lo spessore della sezione cava

 $t_w/2 = 55.00$ mm

 $A_k = 26600.00$ mm² - area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico

 $u_k = 660.00$ mm - perimetro medio del nucleo resistente

 $z_i = 140.00$ mm



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 134 DI 225

• Armatura di progetto:			
$\Sigma A_{s, long} =$	616	mm ²	- area complessiva delle barre longitudinali
staffe $\phi =$	8	mm	
Na bracci (trasv)=	2		
s =	45	mm	- passo delle staffe
Asw/s =	2.23	mm ² /mm	- staffe disponibili
• Resistenza torsionale e taglio NTC18 [4.1.34], [4.1.35]:			
longitudinali, il corente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti: $1 \leq \cotg \theta \leq 2.5$ [4.1.25]			
$\theta =$	22	deg.	
$\cotg \theta =$	2.48		
$\alpha =$	90.00	deg	- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
$\cotg \alpha =$	0.00		
$\alpha_c =$	1.00		- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave(1 per membrature non compresse)
$T_{Rcd} =$	17276848.33	N*mm	- Con riferimento al calcestruzzo la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.35]
$T_{Rtd} =$	115107623.16	N*mm	- Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.36]
$T_{Rtd} =$	7850053.90	N*mm	- Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.37]
$T_{Rtd} =$	7850053.90	N*mm	- min($T_{Rcd}, T_{Rtd}, T_{Rtd}$)
$V_{Rcd} =$	167395.30	N	- resistenza di progetto a "taglio compressione" [NTC18: 4.1.27]
$T_{Rd} \geq T_{ed}$			OK!
$T_{ed}/T_{Rcd} =$	0.260348		
$V_{Ed}/V_{Rcd} =$	0.1578		
$T_{ed}/T_{Rcd} + V_{Ed}/V_{Rcd} \leq 1$			OK! Non sono necessari armature supplementari!
• Verificare armatura trasversale :			
Asw/s =	0.08729768	mm ² /mm	OK! Non sono necessari armature supplementari!

14.4 Verifica limitazione armatura

Resta da verificare che l'armatura determinata in funzione delle sollecitazioni agenti rispetti le limitazioni riportate nel punto 7.4.6.2.1 delle NTC2018:

- almeno due barre di diametro non inferiore a 14 mm devono essere presenti superiormente e inferiormente per tutta la lunghezza della trave;
- in ogni sezione della trave, il rapporto geometrico ρ relativo all'armatura tesa, indipendentemente dal fatto che l'armatura tesa sia quella al lembo superiore della sezione A_s o quella al lembo inferiore della sezione A_i , deve essere compreso entro i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

dove:

ρ è il rapporto geometrico relativo all'armatura tesa pari ad $A_s/(b \cdot h)$ oppure ad $A_i/(b \cdot h)$;

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	135 DI 225

ρ_{comp} è il rapporto geometrico relativo all'armatura compressa;

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (in MPa).

Appoggi/Campata:

			Dimensioni		
Armatura tesa			sezione		
2	Ø	14 mm	b =	300	mm
			h =	250	mm
$A_s =$	308	mm ²	c =	55	mm
$\rho = A_s / (bh) =$	0.00411				
Armatura compressa					
2	Ø	14 mm			
$A_s' =$	308	mm ²			
$\rho_{comp} = A_s' / (bh) =$	0.00411				
$1,4 / f_{yk} =$	0.003111				
$\rho_{comp} + 3,5 / f_{yk} =$	0.011127				

La verifica risulta
soddisfatta.

- l'armatura compressa non deve essere mai inferiore ad un quarto di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0.25 \rho$$

Nel caso specifico risulta nella sezione in appoggi/campata:

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) =$	0.00411	
$0,25\rho =$	0.001028	La verifica risulta soddisfatta.

- nelle zone critiche della trave, inoltre, deve essere:

$$\rho_{comp} \geq 0.5 \rho$$

Le zone critiche si estendono, per CD"B", per una lunghezza pari a 1,5 volte l'altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro o da entrambi i lati a partire dalla sezione di prima plasticizzazione.

Nel caso specifico risulta:

$\rho_{comp} = A_s' / (bh) =$	0.00411	
$0,50\rho =$	0.002055	La verifica risulta soddisfatta.

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	136 DI 225

- Nelle zone critiche devono essere previste staffe di contenimento. La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non superiore alla minore tra le grandezze seguenti:

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale;
- 225 mm (per CD"B");
- 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali considerate ai fini delle verifiche (per CD"B");
- 24 volte il diametro delle armature trasversali.

Per staffa di contenimento si intende una staffa rettangolare, circolare o a spirale, di diametro minimo 6 mm, con ganci a 135° prolungati per almeno 10 diametri alle due estremità. I ganci devono essere assicurati alle barre longitudinali.

Nel caso specifico risulta:

$$d = 45mm \leq \begin{cases} \frac{h}{4} = 250/4 = 62.5mm \\ 225mm \\ 8 \cdot 16mm = 128mm \\ 24 \cdot 8 = 192mm \end{cases}$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti previsti per le travi in calcestruzzo in zona non sismica (punto 4.1.6.1.1 delle NTC2018):

- l'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

e comunque non minore di $0.0013 b_t \cdot d$

dove:

b_t rappresenta la larghezza media della zona tesa;

d è l'altezza utile della sezione;

f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione assiale;

f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 308 \text{ mm}^2 > \begin{cases} A_{s, \min} = 0.26 * \frac{2.90}{450} 250 * 210 = 87.97 \text{ mm}^2 \\ 0.0013 \cdot 250 \cdot 210 = 68.25 \text{ mm}^2 \end{cases}$$

- negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio;
- al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente $A_{s, \max} = 0,04 A_c$, essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

Nel caso in esame risulta:

$A_s =$	308.00	mm^2	La verifica risulta soddisfatta.
$A_s' =$	308.00	mm^2	La verifica risulta soddisfatta.
$0,04A_c =$	7080	mm^2	

- le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ essendo b lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione;

Nel caso in esame si hanno staffe $\Phi 8/9$, per cui risulta:

$$A_{st} = 1120 \text{ mm}^2/\text{m} \geq A_{st, \min} = 1.5 \cdot 300 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$d = 150 \text{ mm} \leq \begin{cases} 333 \text{ mm} \\ 0.8 \cdot 210 = 168 \text{ mm} \end{cases}$$

- in ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

Per le travi perimetrali dell'edificio l'armatura a taglio è costituita solamente da staffe.

Si riscontra, pertanto, che l'armatura della trave rispetta i limiti prescritti dalle NTC2018.

15 VERIFICHE PILASTRO B4

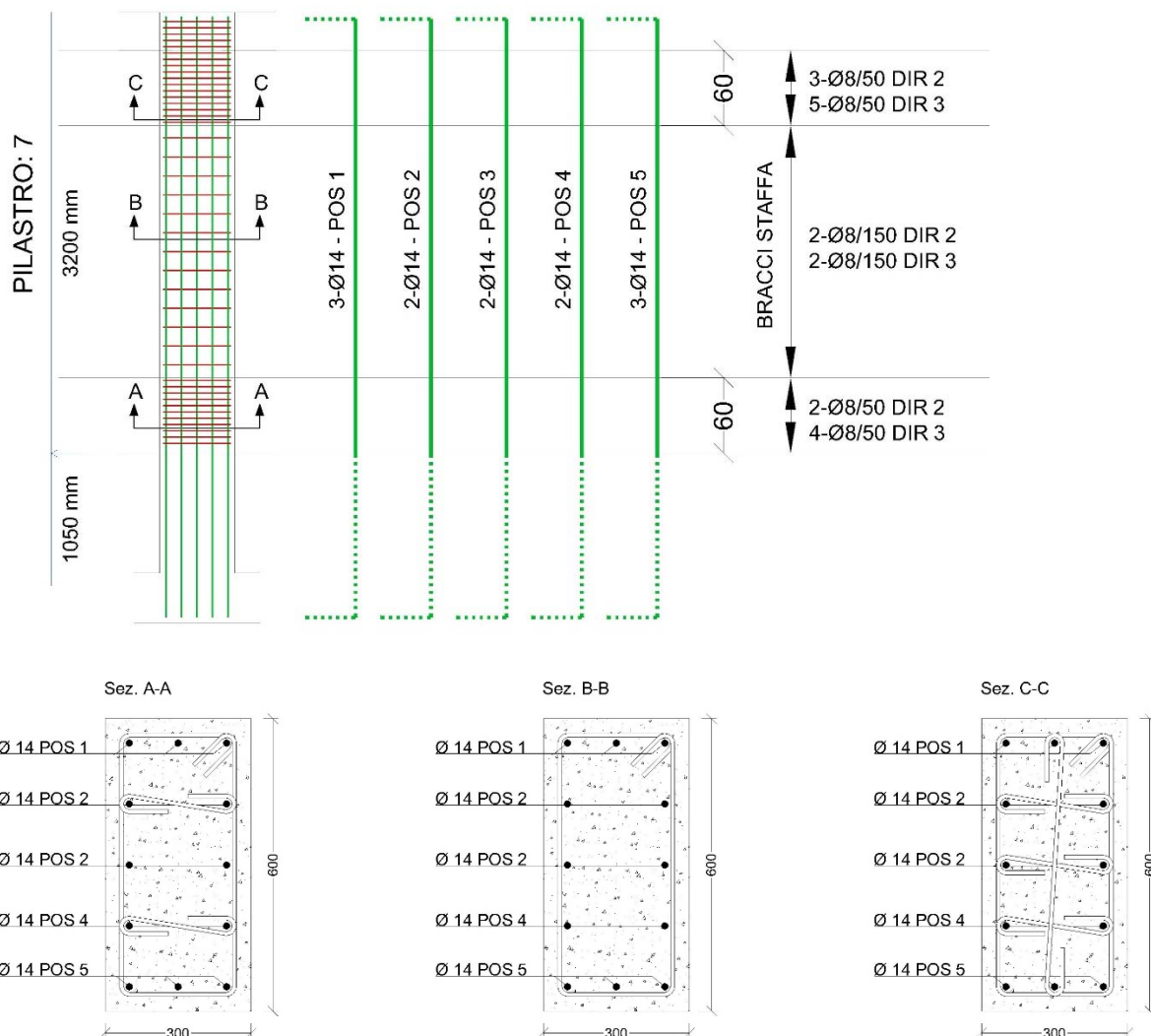
Di seguito è schematizzata la distribuzione di armature longitudinali e staffe per il pilastro corrispondente alla posizione B4.

Come già detto al § 8.7, si assume che la struttura sia in Classe di Duttività Bassa (CDB), pertanto la zona critica del pilastro è la maggiore fra le seguenti (§ 7.4.6.1.2 NTC 2018):

- $1/6$ altezza libera del pilastro = $3150/6 = 525$ mm
- 45 cm
- Altezza della Sezione Trasversale del Pilastro = 600 mm

In definitiva dunque si assume un'Altezza Critica di 600 mm.

Le verifiche di resistenza e gerarchia, così come il controllo tensione e fessurazione per gli stati limite di esercizio, vengono condotte con il software RC-SEC.





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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	139 DI 225

15.1 Verifiche SLU/SLE – Flessione, Tensione, Fessurazione

Sollecitazioni SLU-SLV									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
30	0	SLU_3	-217.218	-3.675	-9.417	-0.304	-13.8503	-4.1665	min P
13	3.2	QKE1	-65.179	-2.672	2.241	2.3747	15.1256	13.8407	max P
13	0	SLU_4	-128.725	-33.759	-5.252	-1.8875	-5.8133	-74.3447	min V2
14	0	SLU_4	-114.321	33.759	-4.13	1.8875	-4.1164	74.3447	max V2
9	0	QKE2	-139.179	-5.269	-31.86	-0.4132	-60.8365	-9.3618	min V3
10	0	QKE2	-114.978	5.269	31.86	0.4132	60.8365	9.3618	max V3
13	0	QKE1	-93.506	-10.214	-8.689	-3.5414	-12.6834	-18.9153	min T
14	0	QKE1	-79.579	10.214	2.241	3.5414	5.892	18.9153	max T
9	0	QKE2	-139.179	-5.269	-31.86	-0.4132	-60.8365	-9.3618	min M2
10	0	QKE2	-114.978	5.269	31.86	0.4132	60.8365	9.3618	max M2
13	0	SLU_4	-128.725	-33.759	-5.252	-1.8875	-5.8133	-74.3447	min M3
14	0	SLU_4	-114.321	33.759	-4.13	1.8875	-4.1164	74.3447	max M3

Sollecitazioni SLD									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
69	0	SLD2	-138.791	-5.017	-2.152	-1.653	-8.0264	-7.5771	min P
1	3.2	SLD1	-68.526	-4.486	6.075	2.1192	-2.6392	12.6272	max P
13	0	SLD2	-89.458	-12.478	-4.2	-1.8128	-5.0729	-25.0543	min V2
2	0	SLD2	-83.627	12.478	4.2	0.6462	5.0729	25.0543	max V2
9	0	SLD2	-133.357	-2.747	-18.964	-0.2145	-34.6809	-4.8813	min V3
10	0	SLD2	-120.799	2.747	18.964	0.2145	34.6809	4.8813	max V3
13	0	SLD1	-90.159	-8.4	-6.075	-2.1192	-8.2393	-14.2901	min T
14	0	SLD1	-82.926	8.4	-0.373	2.1192	1.4479	14.2901	max T
9	0	SLD2	-133.357	-2.747	-18.964	-0.2145	-34.6809	-4.8813	min M2
10	0	SLD2	-120.799	2.747	18.964	0.2145	34.6809	4.8813	max M2
1	0	SLD2	-89.458	-12.478	2.248	-0.6462	1.7185	-25.0543	min M3
2	0	SLD2	-83.627	12.478	4.2	0.6462	5.0729	25.0543	max M3



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 140 DI 225

Sollecitazioni SLE rara									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
69	3.2	SLE_r_3	-145.605	-2.649	4.448	-0.7887	-12.063	3.031	min M2
30	3.2	SLE_r_3	-130.25	-1.195	-4.448	0.7887	12.063	5.5053	max M2
13	0	SLE_r_4	-95.784	-23.317	-3.849	-1.3197	-4.2415	-50.682	min M3
14	0	SLE_r_4	-86.181	23.317	-3.101	1.3197	-3.1103	50.682	max M3

Sollecitazioni SLE frequente									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
10	3.2	SLE_f_3	-117.307	-0.302	5.044	-0.0292	-9.9531	0	min M2
9	3.2	SLE_f_3	-112.333	0	-5.044	0.0292	9.9531	0.6571	max M2
1	0	SLE_f_4	-87.126	-9.72	3.174	0.4599	3.3115	-17.4157	min M3
2	0	SLE_f_4	-85.922	9.72	3.284	-0.4599	3.4964	17.4157	max M3

Sollecitazioni SLE quasi permanente									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
12	3.2	SLE_qp	-112.917	-0.031	5.056	-0.0192	-9.7078	0.0739	min M2
11	3.2	SLE_qp	-112.917	-0.031	-5.056	0.0192	9.7078	0.0739	max M2
2	3.2	SLE_qp	-72.142	6.443	3.224	-0.5833	-6.9208	-11.317	min M3
13	3.2	SLE_qp	-72.142	-6.443	-3.224	-0.5833	6.9208	11.317	max M3

Preliminarmente alla verifica di resistenza dei pilastri allo SLU è necessario valutare la stabilità degli elementi snelli. Tali verifiche devono essere condotte attraverso un'analisi del secondo ordine che tenga conto degli effetti flessionali delle azioni assiali sulla configurazione deformata degli elementi stessi. In via approssimativa gli effetti del secondo ordine in pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza λ non supera il valore limite (4.1.2.3.9.2-NTC2018):

$$\lambda_{lim} = \frac{25}{\sqrt{v}}$$

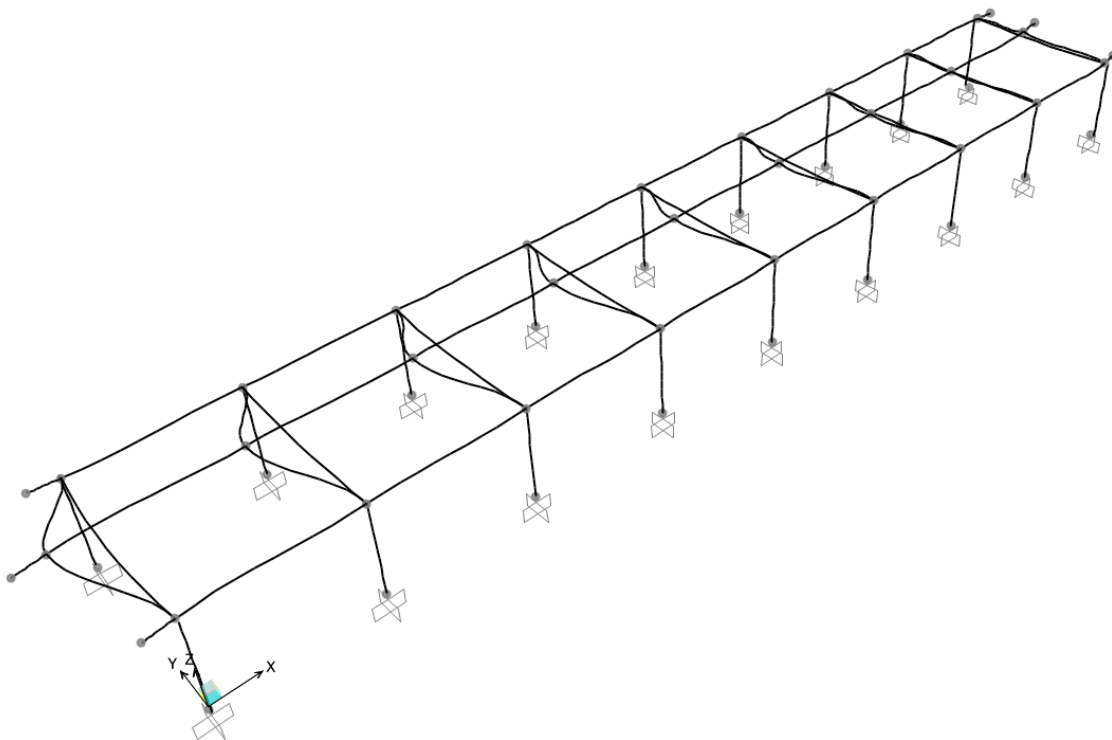
dove:

$v = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ è l'azione assiale adimensionale;

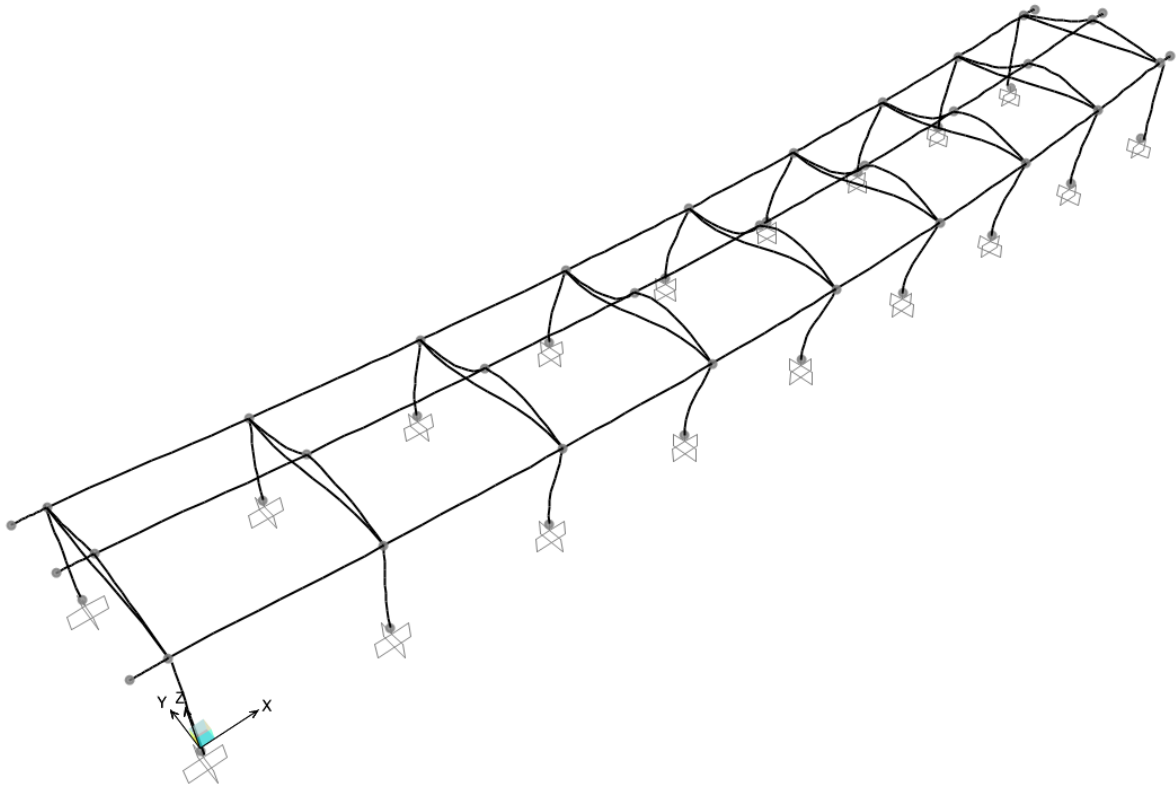
La snellezza è calcolata come rapporto tra la lunghezza libera di inflessione, l_0 , ed il raggio d'inerzia, i , della sezione di calcestruzzo non fessurato:

$$\lambda = l_0 / i$$

Deformed Shape (Buckling) - Mode 1; Factor 65.88587



Deformed Shape (Buckling) - Mode 2; Factor 97.46002

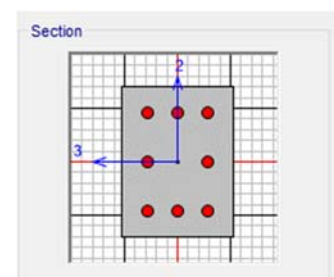


- Snellezza limite per elementi indipendenti:

	C30/37		
$h_c =$	600	mm	- selezionare calcestruzzo
$b_c =$	300	mm	- altezza sezione
$A_c =$	180000	mm ²	- larghezza sezione
$f_{ck} =$	30	Mpa	- area di calcestruzzo
$f_{cm} =$	38	Mpa	- resistenza caratteristica a compressione
$f_{cd} =$	17.000	MPa	- resistenza di progetto
$N_{Ed} =$	217218	N	- max sforzo assiale in SLV
$\nu =$	0.0710		- forza normale
$\lambda_{lim} =$	93.832		- snellezza limite

- Verifica di stabilità

$E =$	32836.568	MPa	- Modulo elastic cls
$I_2 =$	1350000000	mm ³	- Momento d'inerzia (asse 2)
$I_3 =$	5400000000	mm ³	- Momento d'inerzia (asse 3)
$E \cdot I_2 =$	4.43294E+13		- Rigidezza (asse 2) /weak axis/
$E \cdot I_3 =$	1.77317E+14		- Rigidezza (asse 3) /strong axis/
$\alpha_1 =$	65.89		- Fattore trasversale (buckling analysis)





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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	143 DI 225

$\alpha_2 =$	97.46		- Fattore longitudinale (buckling analysis)
Nperm.l.=	104000	N	- Forza normale dovuta ai solo G1 e G2
Ncr,1=	6852560	N	- Carico critico (asse 2)
Ncr,2=	10135840	N	- Carico critico (asse 3)
$l_w =$	3150		- Altezza netto
$\beta =$	2.00		
$l_0 =$	6300.00	mm	- Lunghezza efficace
$i_1 =$	86.6025		- Raggio di inarcazione della sezione non incrinata (asse 2)
$i_2 =$	173.2051		- Raggio di inarcazione della sezione non incrinata (asse 3)
$\lambda_1 =$	72.746	<	$\lambda_{lim} = 93.832$ OK!
$\lambda_2 =$	36.373	<	$\lambda_{lim} = 93.832$ OK!

Per quanto concerne le non linearità geometriche sono prese in conto, quando necessario, attraverso il fattore θ di seguito definito. In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui risulti:

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0.1$$

dove:

P è il carico verticale totale agente;

d_r è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano; $= \sqrt{[\delta_{x1}^2 + \delta_{y1}^2]}$

V è la forza orizzontale totale agente; $V = \sqrt{(V_x^2 + V_y^2)}$

h è l'altezza dell'elemento.

Si riporta di seguito la verifica delle non linearità geometriche per il pilastro più sollecitato facendo riferimento alle combinazioni di carico più gravose per il taglio:

- Check for P-Δ effect in X and Y direction according to NTC2018 7.3.1

h=	3150	mm	- clear high of the floor
P1=	2154792	N	- Summary base reactions from Comb.1 SLV 100x+30Y
P2=	2154792	N	- Summary base reactions from Comb.2 SLV 30X+100Y
der,x=	0.8	mm	- Displacements in long. direction on the top of column from COMB.1 SLV
der,y=	2.1	mm	- Displacements in transv. direction on the top of column from COMB.1 SLV
der,tot=	2.247220505	mm	- Average value of displacement from COMB.1 SLV
der,x=	0.3	mm	- Displacements in long. direction on the top of column from COMB.2 SLV
der,y=	6.3	mm	- Displacements in transv. direction on the top of column from COMB.2 SLV
der,tot=	6.307138812	mm	- Average value of displacement from COMB.2 SLV
Vx=	268237	N	- Shear force in longitudinal direction from Comb.1 SLV
Vy=	93107	N	- Shear force in transverse direction from Comb.1 SLV
Vtot=	283936.6155	N	- Average value of shear force from COMB.1 SLV
Vx=	80471	N	- Shear force in longitudinal direction from Comb.2 SLV
Vy=	310358	N	- Shear force in transverse direction from Comb.2 SLV
Vtot=	320620.7573	N	- Average value of shear force from COMB.2 SLV



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	144 DI 225

$$\theta = \frac{P \cdot d_{Er}}{V \cdot h}$$

- According to NTC2018 7.3.1

$\theta_x = 0.00541401$

<

0.1

OK!

- Inter-story sensitivity coefficient in X direction

$\theta_y = 0.013456607$

<

0.1

OK!

- Inter-story sensitivity coefficient in Y direction

• **Verifica di resistenza allo SLU**

Si riportano di seguito le tre terne di sollecitazioni più gravose in cui si rileva:

- a) N_{max} e $M_x - M_y$ corrispondenti;
- b) M_{x-max} e $N - M_y$ corrispondenti;
- c) M_{y-max} e $N - M_x$ corrispondenti.

Sollecitazioni SLU-SLV										
TABLE: Element Forces - Frames										
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali	Caso
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m		
13	3.2	QKE1	-65.179	-2.672	2.241	2.3747	15.1256	13.8407	max P	A
10	0	QKE2	-114.978	5.269	31.86	0.4132	60.8365	9.3618	max M2	B
14	0	SLU_4	-114.321	33.759	-4.13	1.8875	-4.1164	74.3447	max M3	C

• **Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE**

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame non è necessario effettuare le verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza (punto 7.3.7.1 delle NTC2018) dato che il fabbricato tecnologico in esame non ricade in classe d'uso III e IV.

• **Verifiche di fessurazione:**

In particolare:

- La verifica fessurazione è condotta cautelativamente con limie $w = 0.2$ mm in combinazione caratteristica.

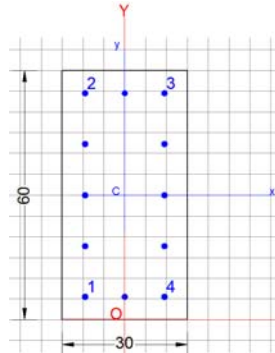
In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale del pilastro tipo.

- a) **Verifica a presso-flessione:**

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	145 DI 225

Le verifiche di resistenza a flessione e pressoflessione allo SLU (NTC2018 – 4.1.2.1.2.4; - 7.4.4.2) per le sezioni di base dei pilastri sono state condotte con il supporto del software RC-SEC considerando le sollecitazioni riportate nei prospetti precedenti:



1) Lato corto:

- Armatura superiore 3 Φ 14
- Armatura inferiore 3 Φ 14

2) Lato lungo:

- Armatura superiore 3 Φ 14
- Armatura inferiore 3 Φ 14

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Column_check.secEC

Section description:

Section type:	Column (compression member)
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia
Section's position in the member:	In critical region

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v1 \cdot fcd$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	180.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	146 DI 225

Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.: 13.50 Mpa
 Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.: 0.300 mm

STEEL - Longitudinal Bars and Stirrups: B450C
 Characteristic yield stress f_{yk} : 450.00 MPa
 Tensile strength f_{tk} : 540.0 MPa
 Design yield stress f_{yd} : 391.3 MPa
 Design strength f_{td} : 391.3 MPa
 Design ultimate strain ϵ_{su} : 0.068
 Mean elastic modulus E_s : 200000.0 MPa
 SLS Charact. - S_s Limit: 360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	0.0
2	-15.0	60.0
3	15.0	60.0
4	15.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-9.5	5.5	14
2	-9.5	54.5	14
3	9.5	54.5	14
4	9.5	5.5	14

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	1	2	3	14
2	3	4	3	14
3	2	3	1	14
4	1	4	1	14

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

N d Design axial force [kN] applied at centroid of concrete section (+ if compressive)
 Mx d Design bending force [kNm] around x principal axis of inertia
 My d Design bending force [kNm] around y principal axis of inertia
 Vy d Design shear component [kN] parallel to y principal axis of inertia
 Vx d Design shear component [kN] parallel to x principal axis of inertia

Comb.N.	N d	Mx d	My d	Vy d	Vx d
---------	-----	------	------	------	------



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NBIR	02	D 26 CL	FA0400 001	A	147 DI 225

1	115.00	60.84	6.00	0.00	0.00
2	0.00	60.84	6.00	0.00	0.00
3	115.00	-6.00	-74.35	0.00	0.00
4	0.00	-4.12	74.35	0.00	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx Bending force [kNm] around x principal axis of inertia. First cracking value is shown between brackets.
My Bending force [kNm] around y principal axis of inertia. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	87.00	50.69	-3.12
2	0.00	50.69	-3.12

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx Bending force [kNm] around x principal axis of inertia. First cracking value is shown between brackets.
My Bending force [kNm] around y principal axis of inertia. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	85.93	17.42 (63.73)	4.00 (14.63)
2	0.00	17.42 (41.86)	4.00 (9.61)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx Bending force [kNm] around x principal axis of inertia. First cracking value is shown between brackets.
My Bending force [kNm] around y principal axis of inertia. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	72.00	12.00 (38.95)	7.00 (22.72)
2	0.00	12.00 (28.06)	7.00 (16.37)

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: 4.8 cm
Min distance between longitudinal bars: 8.1 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check Result of check
N Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
My Design bending moment [kNm] around y axis principal of inerzia
N ult Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
My ult Bending moment capacity [kNm] around y axis principal of inertia
S.F. Safety Factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult, My ult) to (N, Mx, My). Check OK if ratio >=1.00

Comb.N.	Check	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	S.F.
---------	-------	---	----	----	-------	--------	--------	------

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	148 DI 225

1	OK	115.00	60.84	6.00	114.97	198.97	19.57	3.270
2	OK	0.00	60.84	6.00	0.00	177.18	17.48	2.912
3	OK	115.00	-6.00	-74.35	115.22	-7.63	-94.52	1.271
4	OK	0.00	-4.12	74.35	0.00	-4.61	83.27	1.120

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00249	15.0	60.0	0.00204	9.5	54.5	-0.00901	-9.5	5.5
2	0.00350	-0.00335	15.0	60.0	0.00185	9.5	54.5	-0.01084	-9.5	5.5
3	0.00350	-0.00368	-15.0	0.0	0.00047	-9.5	5.5	-0.01023	9.5	54.5
4	0.00350	-0.00480	15.0	0.0	-0.00003	9.5	5.5	-0.01234	-9.5	54.5

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000065564	0.000200027	-0.009485109	----	----
2	0.000066977	0.000232985	-0.011483724	----	----
3	-0.000544034	-0.000007339	-0.004660505	----	----
4	0.000638394	-0.000003611	-0.006075906	----	----

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.95 (18.0)	-15.0	60.0	-107.3 (360.0)	9.5	5.5	321	4.6	0.014
2	1	OK	5.04 (18.0)	-15.0	60.0	-160.1 (360.0)	9.5	5.5	375	4.6	0.012

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	149 DI 225

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}

Check Result of check

e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section

e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section

k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]

kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]

k2 = 0.5 for bending; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]

k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex

k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex

Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in A_c eff [eq.(7.11)]

e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]

Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 S_{max} / E_s$

sr max Max final crack [mm] spacing

wk Calculated value [mm] of crack width = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets

MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]

MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00064	0	0.500	14.0	0.00032 (0.00032)	329	0.106	64.72	-3.98
2	OK	-0.00093	0	0.500	14.0	0.00048 (0.00048)	356	0.171	54.63	-3.36

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.02 (18.0)	15.0	60.0	-17.2 (360.0)	-9.5	5.5	88	1.5	0.018
2	1	OK	2.46 (18.0)	15.0	60.0	-63.8 (360.0)	-9.5	5.5	212	3.1	0.015

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00012	0	0.500	14.0	0.00005 (0.00005)	299	0.015 (0.40)	63.73	14.63
2	OK	-0.00039	0	0.500	14.0	0.00019 (0.00019)	327	0.063 (0.40)	41.86	9.61

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.13 (13.5)	15.0	60.0	-20.7 (360.0)	-9.5	5.5	83	1.5	0.018
2	1	OK	2.64 (13.5)	15.0	60.0	-61.6 (360.0)	-9.5	5.5	131	1.5	0.012

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00015	0	0.500	14.0	0.00006 (0.00006)	292	0.018 (0.30)	38.95	22.72
2	OK	-0.00039	0	0.500	14.0	0.00018 (0.00018)	366	0.068 (0.30)	28.06	16.37

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N. Order numbers assigned to SLS combination

Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent combination

Region Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)

k Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]

kc Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]

Act Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]

Ned Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack

Sc = Ned / A_c = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]

k1 Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
 Fcr Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
 As reg Area [cm²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
 As,min Minimum Area [cm²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	0.86	0.36	445	74.47	4.14	1.50	---	6.2	1.1
2	Frequent	1 (Web)	0.86	0.40	900	0.00	0.00	0.67	---	9.2	2.5
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.86	0.37	461	62.40	3.47	1.50	---	6.2	1.2
2	Quasi-perm.	1 (Web)	0.86	0.40	916	0.00	0.00	0.67	---	9.2	2.5

15.2 Verifiche SLU – Taglio (gerarchia)

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici o fragili dovuti al taglio, per quanto concerne la verifica a taglio del pilastro si utilizza il valore massimo tra il taglio di calcolo dedotto dall'output del modello di calcolo ($V_{d,max} = 116.99$ kN) e quello che si ottiene dalla condizione di equilibrio del pilastro soggetto all'azione dei momenti resistenti nelle sezioni di estremità superiore $M_{C,Rd}^s$ ed inferiore $M_{C,Rd}^i$ secondo l'espressione:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{C,Rd}^s + M_{C,Rd}^i}{l_p}$$

dove:

$\gamma_{Rd} = 1.10$ per strutture in CD" B";

$M_{C,Rd}^s = M_{C,Rd}^i = 198.97$ kNm lungo l'asse forte

$M_{C,Rd}^s = M_{C,Rd}^i = 177.18$ kNm lungo l'asse debole

$l_p = 3.15$ m

$V_{Ed} = 138.97$ kN lungo l'asse forte

$V_{Ed} = 123.75$ kN lungo l'asse debole

I valori massimi delle sollecitazioni derivati dal modello di calcolo sono riportati qui di seguito.

Sollecitazioni SLU-SLV									
Telaio	Stazione	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3	Sollecitazioni principali
Text	m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
13	0	SLU_4	-128.725	-33.759	-5.252	-1.8875	-5.8133	-74.3447	min V2
14	0	SLU_4	-114.321	33.759	-4.13	1.8875	-4.1164	74.3447	max V2
9	0	QKE2	-139.179	-5.269	-31.86	-0.4132	-60.8365	-9.3618	min V3
10	0	QKE2	-114.978	5.269	31.86	0.4132	60.8365	9.3618	max V3

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è maggiore del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000, si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:

$V_{Ed} = 138.97$ kN lungo l'asse forte

$V_{Ed} = 123.75$ kN lungo l'asse debole

Verifica asse forte

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	151 DI 225

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5
• Caratteristiche della sezione

$b_w = 300$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 600$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 55$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 3$	Ø 14	= 4.62 cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm ²
$d = 545$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm ²
$f_{cd} = 17.00$	MPa	resist. di calcolo			4.62 cm ²

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)
 $N_{ed} = 0.0$ kN $V_{ed} = 125.0$ kN

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.606$	<2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.390$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.003$	<0.02
$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa fcd

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 64.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 63.8 \text{ kN})$$

 $V_{Rd} = 64.2$ kN valore di calcolo

la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio

• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio
 $\theta = 45.0$ ° inclinaz. bielle cls angolo ammissibile

 $\alpha = 90.0$ ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio:

 $A_{sw}/s =$ staffe Ø 8 mm con n° bracci (trasv) 2 passo 5 cm = 0.201 cm²/cm

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha$$

$$V_{Rsd} = 385.9 \text{ kN}$$

 $f_{cd} = 8.50$ MPa resist. di calcolo ridotta

 $\alpha_c = 1.000$ coeff. maggiorativo

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha)$$

$$V_{Rcd} = 625.4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 385.9 > 125.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 3.1$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

Verifica asse debole

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	152 DI 225

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5
• Caratteristiche della sezione

$b_w = 600$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 300$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 55$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 3$	$\emptyset 14$	$= 4.62$ cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm ²
$d = 245$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm ²
$f_{cd} = 17.00$	MPa	resist. di calcolo			4.62 cm ²

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

 $N_{ed} = 0.0$ kN $V_{ed} = 125.0$ kN

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.904$	<2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.503$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.003$	<0.02
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa fcd

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 70.9 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 74.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 74.0 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio

• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

$\theta = 45.0$ ° inclinaz. bielle cls angolo ammissibile
 $\alpha = 90.0$ ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio:

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 8 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2 \quad \text{passo } 5 \text{ cm} = 0.201 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha$$

$$= 173.5 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 8.50 \text{ MPa} \quad \text{resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Red} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha)$$

$$= 562.3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Red}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 173.5 > 125.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.4$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

Si adotteranno staffe $\Phi 8 / 5$ cm alle estremità superiore e inferiore (lunghezza 0.60 m) del pilastro e staffe $\Phi 8 / 15$ cm per la zona centrale del pilastro, rispettando ampiamente le prescrizioni relative ai dettagli costruttivi degli elementi in c.a. proposti dalle NTC-2008 al punto 4.1.6.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</p>												
<p>FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca serbatoio GE</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>FA0400 001</td> <td>A</td> <td>153 DI 225</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	153 DI 225
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	153 DI 225								

15.3 Verifiche SLU – Torsione

Vista la ridotta entità delle sollecitazioni torsionali la verifica può essere opportunamente trascurata poiché risulta implicitamente soddisfatta e non dimensionante.

15.4 Verifica limitazione armatura

Resta da verificare che l'armatura determinata in funzione delle sollecitazioni agenti rispetti le limitazioni riportate nel punto 7.4.6.2.2 delle NTC2018:

- Per tutta la lunghezza del pilastro l'interasse tra le barre non deve essere superiore a 25 cm;
- Nella sezione corrente del pilastro, la percentuale geometrica ρ di armatura longitudinale, con ρ rapporto tra l'area dell'armatura longitudinale e l'area della sezione del pilastro, deve essere compresa entro i seguenti limiti:

$$1\% < \rho < 4\%$$

$$\rho = A_l / (bH) = 18.48 / (60 \cdot 30) = 1.03\%$$

- Nelle zone critiche devono essere rispettate le condizioni seguenti: le barre disposte sugli angoli della sezione devono essere contenute dalle staffe; almeno una barra ogni due, di quelle disposte sui lati, deve essere trattenuta da staffe interne o legature; le barre non fissate si devono trovare a meno di 20 cm da una barra fissata per CDB.
- Il diametro delle staffe di contenimento e legature deve essere non inferiore a 6 mm ed il loro passo deve essere non superiore alla più piccola delle quantità seguenti:
 - 1/2 del lato minore della sezione trasversale per CDB;
 - 175 mm (per CD" B");
 - 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali che collegano (per CD" B")

Nel caso specifico risulta:

$$d = 150\text{mm} \leq \begin{cases} \frac{b}{2} = 300/2 = 150\text{mm} \\ 175\text{mm} \\ 8 \cdot 14 = 112\text{mm} \end{cases}$$

- Si devono disporre staffe in un quantitativo minimo non inferiore a:

$$\frac{A_{st}}{s} = 0.08 \frac{f_{cd} \cdot b_{st}}{f_{yd}}$$

Nel caso specifico risulta:

$$\frac{A_{st}}{s} = \frac{101}{100} = 1.01 > 0.08 \frac{f_{cd} \cdot b_{st}}{f_{yd}} = 0.08 * \frac{17.00 * 220}{450} = 0.67$$

- Le staffe orizzontali presenti lungo l'altezza del nodo devono verificare la seguente condizione

$$\frac{n_{st} \cdot A_{st}}{i \cdot b_j} \geq 0.05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}}$$

Nella quale n_{st} e A_{st} sono rispettivamente il numero di bracci e l'area della sezione trasversale della barra della singola staffa orizzontale, i è l'interasse, e b_j è la larghezza utile del nodo determinata come segue:

- se la trave ha una larghezza b_w superiore a quella del pilastro b_c , allora b_j è il valore minimo fra b_w e $b_c + h_c/2$, essendo h_c la dimensione della sezione della colonna parallela alla trave;
- se la trave ha una larghezza b_w inferiore a quella del pilastro b_c , allora b_j è il valore minimo fra b_c e $b_w + h_c/2$.

Con:

$$n_{st} = 2$$

$$A_{st} = 50.30 \text{ mm}^2$$

$$i = 10 \text{ mm}$$

$$b_c = 300 \text{ mm} - 600 \text{ mm}$$

$$b_w = 600 \text{ mm} - 300 \text{ mm}$$

$$b_j = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{n_{st} \cdot A_{st}}{i \cdot b_j} = \frac{2 \cdot 50.30}{10 \cdot 30} = 0,3354 \geq 0.05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.05 \frac{30}{450} = 0,0033$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti riportati al punto 4.1.6.1.2 delle NTC2018:

- Nel caso di elementi sottoposti a prevalente sforzo normale, le barre parallele all'asse devono avere diametro maggiore od uguale a 12 mm. Inoltre la loro area non deve essere inferiore a :

$$A_{s,min} = (0.10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}})$$

e comunque non minore di 0.003 A_c ;

dove:

N_{Ed} rappresenta lo sforzo di compressione assiale di calcolo;



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	155 DI 225

Ac è l'area di calcestruzzo;

f_{yd} è il valore della resistenza di calcolo dell'armatura.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 4524mm^2 > \begin{cases} 0,10 \cdot \frac{115000}{391,3} = 29,39 mm^2 \\ 0,003 \cdot 400 \cdot 300 = 360mm^2 \end{cases}$$

Si riscontra, pertanto, che l'armatura dei pilastri rispetta i limiti prescritti dalle NTC2018.

16 NODI TRAVE-PILASTRO

Il nodo deve essere progettato in maniera tale da evitare una sua rottura anticipata rispetto alle zone delle travi e dei pilastri in esso concorrenti.

In ogni nodo la capacità a taglio deve essere superiore o uguale alla corrispondente domanda.

Le verifiche si fanno secondo I requisiti in 7.4.4.3.1 – NTC2018.

In assenza di più accurate valutazioni, la domanda a taglio agente nel nucleo di calcestruzzo del nodo può essere calcolata, per ciascuna direzione dell'azione sismica, come:

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} - V_c \text{ per nodi interni}$$

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1}) \cdot f_{yd} - V_c \text{ per nodi esterni}$$

dove $\gamma_{Rd}=1.1$ per CD "B";

A_{s1} e A_{s2} - sono rispettivamente l'area dell'armatura superiore ed inferiore della trave;

V_c - la forza di taglio nel pilastro al di sopra del nodo;

La compressione nel puntone diagonale indotta dal meccanismo a traliccio non deve eccedere la resistenza a compressione del calcestruzzo. In assenza di modelli più accurati, il requisito può ritenersi soddisfatto se:

$$V_{jbd} \leq \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}}$$

dove

$\eta = \alpha_j \cdot (1 - \frac{f_{ck}}{250})$ con f_{ck} espresso in MPa;

α_j vale 0,6 per nodi interni e 0,48 per nodi esterni;

v_d è la forza assiale nel pilastro al di sopra del nodo, normalizzata rispetto alla resistenza a compressione della sezione di solo calcestruzzo;

h_{jc} è la distanza tra le giaciture più esterne delle armature del pilastro;

b_j è la larghezza effettiva del nodo assunta pari alla minore tra:

- la maggiore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave;

- la minore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave, ambedue aumentate di metà altezza della sezione del pilastro.

l'integrità del nodo a seguito della fessurazione diagonale può essere garantita integralmente dalle staffe orizzontali se:

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \text{ per nodi interni}$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \text{ per nodi esterni}$$

dove

A_{sh} è l'area totale della sezione delle staffe.

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	157 DI 225

Verifica per i pilastri a direzione trasversale:

Nodi interni

γ_{Rd}	1.1	;	b_j	500	mm
VC	0	kN	;	f_{cd}	17.00 MPa
AS1	508.9	mm ²	;	f_{ck}	30 MPa
AS2	508.9	mm ²	;	f_{ctd}	1.4 MPa
f_{yd}	391	MPa	;	f_{ywd}	391 MPa
			;	h_{jw}	186 mm
V_{jbd}	437.8	kN	;		
α_j	0.60		;	$\varnothing_{stirr.}$	10 mm
v_d	0		;		50 mm
h_{jc}	190	mm	;	A_{sh}	1461 mm ²
				η	0.528 MPa

$$\eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} = 767.40 \text{ kN} > 437.80 \text{ kN}$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} = 571.20 \text{ kN} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) = 437.80 \text{ kN}$$

Le verifiche risultano soddisfatte.
Nodi esterni:

γ_{Rd}	1.1	;	b_j	500	mm
V_C	0	kN	;	f_{cd}	17.00 MPa
A_{S1}	508.9	mm ²	;	f_{ck}	30 MPa
A_{S2}	508.9	mm ²	;	f_{ctd}	1.4 MPa
f_{yd}	391	MPa	;	f_{ywd}	391 MPa
			;	h_{jw}	186 mm
V_{jbd}	218.90	kN	;		
α_j	0.48		;	$\varnothing_{stirr.}$	10 mm
v_d	0		;		50 mm
h_{jc}	190	mm	;	A_{sh}	1461 mm ²
				η	0.422 MPa

$$\eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} = 614 \text{ kN} > 437.80 \text{ kN}$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} = 571.20 \text{ kN} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) = 218.90 \text{ kN}$$

Le verifiche risultano soddisfatte.

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	158 DI 225

Verifica per i pilastri a direzione longitudinale:

Nodi interni:

γ_{Rd}	1.1		;	b_j	450	mm
V_C	0	kN	;	f_{cd}	17.00	MPa
A_{S1}	508.9	mm ²	;	f_{ck}	30	MPa
A_{S2}	508.9	mm ²	;	f_{ctd}	1.4	MPa
f_{yd}	391	MPa	;	f_{ywd}	391	MPa
			;	h_{jw}	480	mm
V_{jbd}	437.80	kN	;			
α_j	0.60		;	$\varnothing_{stirr.}$	10	mm
v_d	0		;		50	mm
h_{jc}	190	mm	;	A_{sh}	2262	mm ²
				η	0.528	MPa

$$\eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} = 767.40 \text{ kN} > 437.80 \text{ kN}$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} = 884.4 \text{ kN} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) = 437.80 \text{ kN}$$

Le verifiche risultano soddisfatte.
Nodi esterni:

γ_{Rd}	1.1		;	b_j	450	mm
V_C	0	kN	;	f_{cd}	17.00	MPa
A_{S1}	508.9	mm ²	;	f_{ck}	30	MPa
A_{S2}	508.9	mm ²	;	f_{ctd}	1.4	MPa
f_{yd}	391	MPa	;	f_{ywd}	391	MPa
			;	h_{jw}	480	mm
V_{jbd}	218.90	kN	;			
α_j	0.48		;	$\varnothing_{stirr.}$	10	mm
v_d	0		;		50	mm
h_{jc}	190	mm	;	A_{sh}	1461	mm ²
				η	0.422	MPa

$$\eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} = 614 \text{ kN} > 218.90 \text{ kN}$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} = 884.40 \text{ kN} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) = 218.90 \text{ kN}$$

Le verifiche risultano soddisfatte.



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	159 DI 225

17 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 IV è necessario operare una verifica di rigidezza degli elementi strutturali, riferendosi allo Stato Limite di Operatività.

In particolare, secondo la norma, la verifica in termini di rigidezza 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 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 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_r = spostamento interpiano, ovvero la differenza tra gli spostamenti al solaio superiore ed inferiore, determinato per lo SLO

Nel caso in esame si ha $q_{SLO} = 1$.

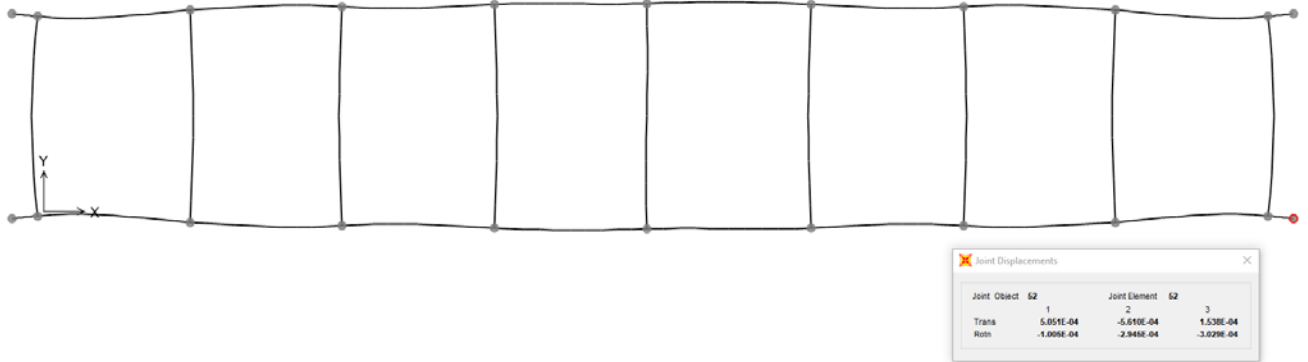
Inoltre, essendo l'altezza di interpiano $h_1 = 3,15$ m, il limite massimo degli spostamenti nel caso in esame è:

$$d_{r,1} \leq 2/3 * (0,005 * 3.15) = 10,5 \text{ mm}$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

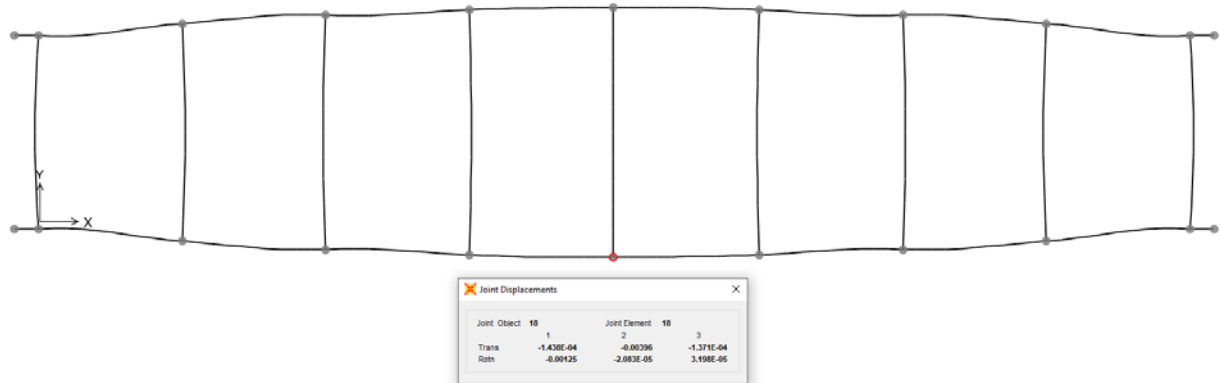
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	160 DI 225

Deformed Shape (SLO1)



$$d_r = u_1 = 0,51 \text{ mm} < 10,50 \text{ m}$$

Deformed Shape (SLO2)



$$d_r = u_2 = 4,00 \text{ mm} < 10,50 \text{ mm}$$

La verifica risulta soddisfatta.

18 VERIFICA SISMICA TAMPONAMENTI

Al § 7.3.6 in Tab. 7.3.III le NTC 2018 specificano come per le costruzioni ricadenti in Classe d'Uso IV sia necessario operare una verifica di stabilità per gli elementi NON Strutturali soggetti all'azione sismica valutata per lo *SLV*.

In particolare, secondo quanto riportato al § 7.3.6.2 della stessa norma, per gli elementi costruttivi senza funzione strutturale devono essere adottati magisteri atti ad evitare collassi fragili e prematuri e la possibile espulsione sotto l'azione della F_a (v. § 7.2.3) corrispondente allo *SLV*.

Considerando la stratigrafia della muratura esterna riportata in Figura 18.1, si assume che la funzione portante della parete sia svolta dal blocco in termolaterizio interno, di spessore pari a 30 cm. Per garantire la resistenza dell'intero tamponamento alle azioni orizzontali, si prevede di inserire all'interno di questa muratura, ogni due corsi di forati, dei tralicci in acciaio inglobati nei letti di malta. Per solidarizzare la muratura esterna di spessore pari a 8 cm allo strato portante interno della parete, si prevede la disposizione di collegamenti puntuali diffusi.

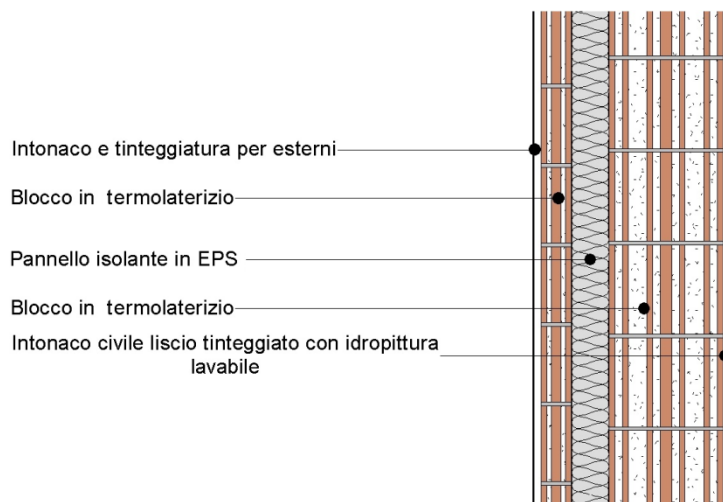


Figura 18.1 – Stratigrafia tamponatura esterna M1

La forza orizzontale F_a applicata sulla tamponatura può essere valutata con la seguente formula, riportata al § 7.2.3 della norma:

$$F_a = (S_a \cdot W_a) / q_a$$

in cui:

F_a = forza sismica orizzontale distribuita o agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale, nella direzione più sfavorevole, risultante delle forze distribuite proporzionali alla massa;

W_a = peso dell'elemento;

S_a = accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (v. § 3.2.1 NTC 2018)

q_a = fattore di comportamento dell'elemento non strutturale.

In assenza di specifiche determinazioni, per S_a e q_a si può fare utile riferimento a quanto riportato nella Circolare n.7/2019; in particolare, per il fattore di struttura q_a si può assumere un valore pari a 2, valido per tramezzature e facciate (vedi Tabella C7.2.I), mentre per la definizione dell'accelerazione massima S_a si può ricorrere alle formulazioni semplificate valide per costruzioni con struttura a telai di seguito riportate.

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha S \left(1 + \frac{Z}{H}\right) \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{aT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a < aT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{Z}{H}\right) a_p & \text{per } aT_1 \leq T_a < bT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{Z}{H}\right) \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{bT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a \geq bT_1 \end{cases} \quad [C7.2.11]$$

In cui:

α = rapporto tra accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo di tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità g ;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche secondo quanto riportato nel § 3.2.3.2.1 delle NTC 2018;

T_a = periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 = periodo fondamentale di vibrazione dell'edificio nella direzione considerata;

Z = quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione;

H = altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

a, b, a_p = parametri definiti in accordo con il primo periodo di vibrazione della costruzione T_1 , vedi Tab C7.2.II.

Di seguito si riportano i calcoli effettuati per la tamponatura esterna più estesa dell'edificio, che rappresenta il caso più gravoso, essendo la parete in esame caratterizzata da specchiatura e massa maggiori. Si assume pertanto di poter estendere le considerazioni seguenti anche alle restanti tipologie di pareti presenti all'interno dell'edificio, che eventualmente richiederanno quantitativi di armatura inferiori rispetto a quelli di seguito dimensionati per la Tamponatura M1, in ragione della minore massa sismica.

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

 PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 163 DI 225

VERIFICA PARETE DI TAMPONAMENTO ESTERNA PARAMENTO ESTERNO							
METODO DI CALCOLO	Parete vincolata superiormente e inferiormente, forza concentrata in mezzeria						
POSIZIONE PARETE	Tamponamento perimetrale piano P1						
GEOMETRIA DELLA PARETE E DEL FABBRICATO				CARATTERISTICHE DELLA PARETE			
h	3.15	[m]	Altezza parete	E_m	3000	[MPa]	Modulo elastico muratura
L	5.5	[m]	Larghezza parete	s_p	0.3	[m]	Spessore parete
h_p	1.26	[m]	Quota imposta parete	Q_m	7.6	[kN/m ³]	Peso specifico muratura
H	5.9	[m]	Altezza costruzione	G2	0.08	[m]	Spessore totale G2
z	2.83	[m]	Quota baricentro parete	G2	15	[kN/m ³]	Peso specifico G2
T_1	0.32	[s]	Periodo fondamentale	I_m	1.50E-03	[m ⁴]	Momento di inerzia tamponatura
T_a	0.10	[s]	Periodo fondamentale tamponamento	f_d	16	[MPa]	Resistenza muratura
W_{aq}	3.50	[kN/m ²]	Peso parete al mq	q_a	2	[-]	Fattore di struttura
W_a	11.04	[kN/m]	Peso parete al ml	σ_c	0.02	[MPa]	Tensione a metà tamponamento
A_g/g	0.126	[g]	Accelerazione massima SLC				
S_s	1.2	[-]	Amplificazione stratigrafica				
S_T	1	[-]	Amplificazione topografica				
S	1.2	[-]	$S_s * S_T$				
F_0	2.491	[-]	Amplificazione spettrale massima SLC				
S_a	0.377	[g]	Accelerazione massima				
F_a	2.08	[kN/m]	Forza sismica massima				
p_a	0.66	[kN/m ²]	Forza sismica distribuita				
M_a	1.64	[kNm/m]	Momento massimo in mezzeria				
M_u	4.55	[kNm/m]	Momento resistente				
VERIFICATO							

ARMATURA PARETE DI TAMPONAMENTO ESTERNA PARAMENTO ESTERNO CON RINFORZO			
POSIZIONE PARETE	Tamponamento Perimetrale Piano P1 - Paramento Esterno		
INTERVENTO	Inserimento di un traliccio tipo Murfor nella muratura con i carichi imposti da normativa		
Tipo	RND-100	[-]	Tipologia traliccio
a	250	[mm]	Larghezza traliccio
c	8	[mm]	Diametro filo longitudinale
A_s	50.27	[mm ²]	Area traliccio
f_{yk}	450	[Mpa]	Resistenza caratteristica
γ_s	1.15	[-]	Coefficiente di sicurezza
p_a	0.66	[kN/m ²]	Forza sismica distribuita
l_b	250	[mm]	Larghezza blocco
h_b	300	[mm]	Altezza blocco
i	380	[mm]	Interasse traliccio
c	25	[mm]	Distanza Murfor-blocco
l_0	5500	[mm]	Interasse pilastri per muratura
M_{sd}	0.95	kNm	Momento sollecitante
M_{rd}	2.95	kNm	Momento resistente
VERIFICATO			

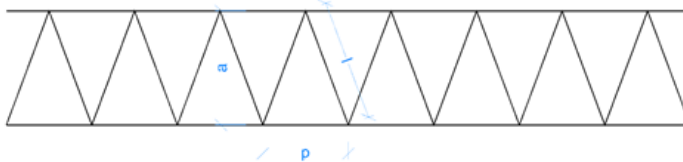
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	164 DI 225

VERIFICA TAGLIO INGHISAGGI DI ESTREMITÀ TAMPONAMENTO INTERNO			
h	3.15	[m]	Altezza parete
L	5.50	[m]	Larghezza parete
i	0.38	[m]	Interasse Inghisaggi
D	6	[m]	Diametro inghisaggi
A _s	28.27	[mm ²]	Area barra
f _{yk}	450	[Mpa]	Resistenza caratteristica
γ _s	1.15	[-]	Coefficiente di sicurezza
P _{s,ext}	0.89	[kN/m ²]	Forza sismica distribuita
V _{rd}	0.70	[kN]	Taglio inghisaggio
V _{rd}	6.39	[kN]	Resistenza a taglio inghisaggio
VERIFICATO			

Calcolo incidenza armatura trallicci a metro quadro di parete - PARETI ESTERNE - TIPO M1

Schema traliccio inserito nei letti di malta delle tamponature



φ	8,00 mm	Diametro armatura traliccio
a	250,00 mm	Larghezza traliccio orizzontale
p	150,00 mm	Passo armatura diagonale traliccio
l	261,01 mm	Lunghezza diagonale traliccio, calcolata come $l = \sqrt{a^2 + (p/2)^2}$
L _{TOT_1m}	5.480,10 mm	Lunghezza diagonale barre di acciaio componenti un metro lineare di traliccio
A _{s_TOT_1m}	275,46 mm ²	Area di acciaio componente un metro lineare di un singolo traliccio
W _{s_TOT_1m}	2,16 kg/m	Peso di acciaio componente un metro lineare di un singolo traliccio
W _{s_TOT}	5,69 kg/m ²	Peso di acciaio presente in un metro quadrato di parete (ipotizzando di disporre un traliccio ogni due corsi di muratura con hporoton=19 cm)

Calcolo incidenza armatura trallicci a metro quadro di parete - PARETI INTERNE - TIPO M3

 Vista la minore massa sismica caratterizzante le pareti interne del fabbricato,
 si assume per queste pareti di disporre la stessa tipologia di traliccio, però non ogni 2 corsi di muratura ma ogni 3

W _{s_TOT}	3,79 kg/m ²	Peso di acciaio presente in un metro quadrato di parete (ipotizzando di disporre un traliccio ogni tre corsi di muratura con hporoton=19 cm)
--------------------	------------------------	---

19 VERIFICHE PLATEA DI FONDAZIONE

La platea di fondazione ha le seguenti caratteristiche geometriche:

Profondità piano di posa rispetto al piano di calpestio interno $D = 135,00$ cm

Larghezza complessiva $B = 670,00$ cm

Lunghezza complessiva $L = 3800,00$ cm

Spessore $s = 30,00$ cm

Lungo tutto il perimetro sono previsti dei cordoli di rinforzo laterali di 60 cm di spessore e 95 cm di altezza rispetto all'estradosso della soletta.

Si riporta di seguito una sezione trasversale tipo:

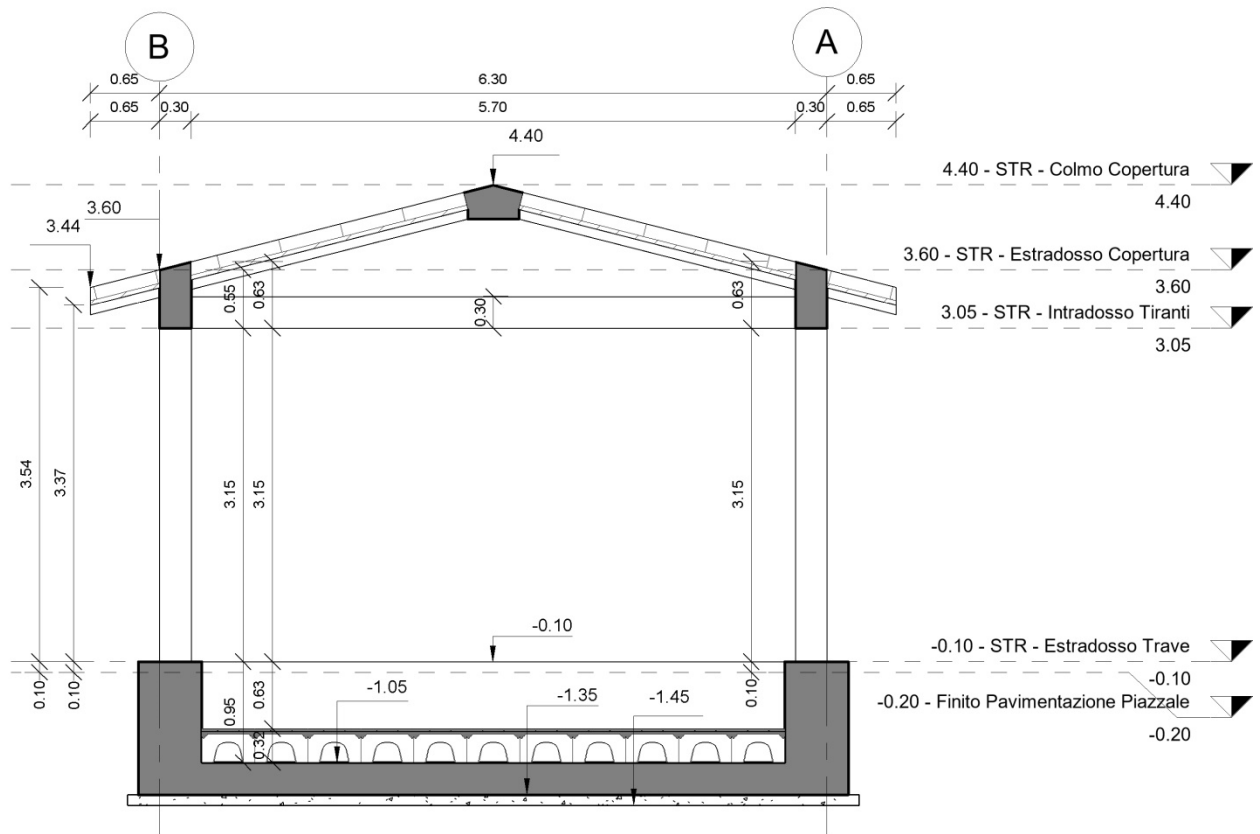


Figura 19.1 – Sezione strutturale del fabbricato

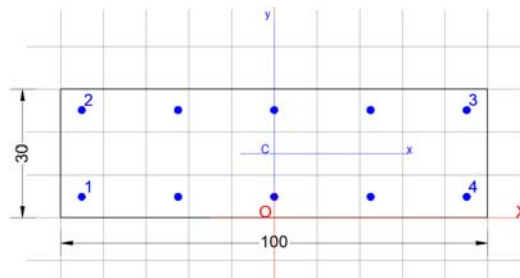
FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	166 DI 225

19.1 Verifiche SLU – Flessione

Si assume di disporre un'armatura orizzontale costituita da $1+1 \phi 18 / 15$ uniformemente distribuita. Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le sezioni più sollecitate della platea.

19.1.1 Momento Flettente M11



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Sezione_0.30 M11.secEC

Section description:	
Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C25/30
	Design compressive strength fcd:	14.2 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	7.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	31475.8 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	2.6 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	15.0 kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	150.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	11.25 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm
	STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:
Characteristic yield stress f_{yk} :		450.00 MPa
Tensile strength f_{tk} :		540.0 MPa
Design yield stress f_{yd} :		391.3 MPa
Design strength f_{td} :		391.3 MPa
Design ultimate strain ϵ_{su} :		0.068
Mean elastic modulus Es:		200000.0 MPa
SLS Charact. - S_s Limit:	360.00 MPa	

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	167 DI 225

Concrete Class: C25/30

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	5.0	18
2	-45.0	25.0	18
3	45.0	25.0	18
4	45.0	5.0	18

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	3	3	18
2	1	4	3	18

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	60.00	0.00

CHECKS RESULTS

Min edge cover of longitudinal bars: 4.1 cm
 Min distance between longitudinal bars: 18.2 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	168 DI 225

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	60.00	0.00	116.04	1.934	12.7(3.7)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

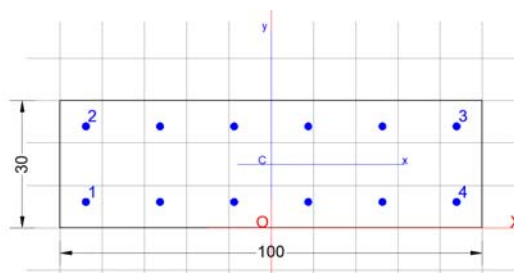
Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00596	-50.0	30.0	-0.00018	-45.0	25.0	-0.01490	-45.0	5.0

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: $aX+bY+c=0$ reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000735833	-0.018574982	0.190	0.700

19.1.2 Momento Flettente M22



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Sezione_0.30 M22.secEC

Section description:	Beam without stirrups
Section type:	EC2/EC8 Italian Annex
Reference code:	EC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Exposure Class:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Stress path:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Type of bending:	Principal axes y,y of inertia
Reference of assigned forces:	



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	169 DI 225

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C25/30	
	Design compressive strength fcd:	14.2	MPa
	Shear reduced compressive strenght v1*fcd:	7.1	MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020	
	Ultimate strain ecu:	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle	
	Mean Elastic Modulus Ecm:	31475.8	MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.6	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	15.0	kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	150.0	daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400	mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	11.25	Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300	mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.00	MPa
	Tensile strength ftk:	540.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C25/30

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.9	6.1	18
2	-43.9	23.9	18
3	43.9	23.9	18
4	43.9	6.1	18

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	3	4	18
2	1	4	4	18



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	170 DI 225

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	MX d	Vy d
		Design bending force [kNm] around X axis of reference system	
		Design shear component [kN] parallel to Y reference axis	
1	0.00	-60.00	0.00

CHECKS RESULTS

Min edge cover of longitudinal bars: 5.2 cm
 Min distance between longitudinal bars: 15.8 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check						
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)						
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia						
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)						
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia						
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult, My ult) to (N, Mx, My). Check OK if ratio >=1.00						
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]						
Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	-60.00	0.00	-130.78	2.180	15.3(3.5)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max	Ultimate compressive strain in concrete									
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)									
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max									
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max									
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)									
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max									
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max									
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)									
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min									
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min									
Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00431	-50.0	0.0	-0.00020	-43.9	6.1	-0.01101	43.9	23.9

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O				
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section				
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]				
Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	-0.000607206	0.003500000	0.241	0.741

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	171 DI 225

19.2 Verifiche SLU – Taglio

Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica resistenza a taglio degli elementi non dotati di armature trasversali resistenti a taglio, si conduce controllando la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente, mentre V_{Rd} è la resistenza a taglio.

Si riporta di seguito la verifica sulla sezione massimamente sollecitata a taglio.

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$ mm	larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa	resist. caratteristica
$h = 300$ mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$	coeff. sicurezza
$c = 67$ mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$ MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:	
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 6 \emptyset$	$18 = 15.27$ cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \emptyset$	$0 = 0.00$ cm ²
$d = 233$ mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \emptyset$	$0 = 0.00$ cm ²
$f_{cd} = 14.17$ MPa	resist. di calcolo		15.27 cm ²

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 100.0 \text{ kN}$$

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.926 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.468$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.007 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 136.8 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 109.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 136.8 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

19.3 Verifiche SLE

Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le sezioni più sollecitate della platea di fondazione.

19.3.1 Momento Flettente M11

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	45.00	0.00



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	172 DI 225

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	35.00 (45.00)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	30.00 (45.00)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.61 (15.0)	-50.0	30.0	-159.9 (360.0)	-45.0	5.0	750	12.7	0.017

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm
 Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -)assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
 k2 = 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
 MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00103	0	0.500	18.0	0.00048 (0.00048)	320	0.153	45.00	0.00



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	173 DI 225

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.58 (15.0)	-50.0	30.0	-124.3 (360.0)	-45.0	5.0	750	12.7	0.017

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00080	0	0.500	18.0	0.00037 (0.00037)	320	0.119 (0.40)	45.00	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.07 (11.3)	-50.0	30.0	-106.6 (360.0)	-45.0	5.0	750	12.7	0.017

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00069	0	0.500	18.0	0.00032 (0.00032)	320	0.102 (0.30)	45.00	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.40	1500	---	---	---	-149.62	12.7	4.3
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	1500	---	---	---	-128.24	12.7	4.3

19.3.2 Momento Flettente M22

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
MX	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-60.00	0.00



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	174 DI 225

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-55.00 (-44.68)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-52.00 (-44.68)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	6.34 (15.0)	-50.0	30.0	-188.7 (360.0)	26.3	23.9	750	15.3	0.020

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm
 Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -)assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
 k2 = 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
 MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00131	0	0.500	18.0	0.00057 (0.00057)	327	0.185	-44.68	0.00



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	175 DI 225

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	5.81 (15.0)	-50.0	30.0	-173.0 (360.0)	26.3	23.9	750	15.3	0.020

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00120	0	0.500	18.0	0.00052 (0.00052)	327	0.170 (0.40)	-44.68	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	5.49 (11.3)	-50.0	30.0	-163.6 (360.0)	26.3	23.9	750	15.3	0.020

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00113	0	0.500	18.0	0.00053 (0.00049)	327	0.174 (0.30)	-44.68	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	1.00	0.40	1500	---	---	---	-236.81	15.3	4.3
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	1500	---	---	---	-223.90	15.3	4.3

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	176 DI 225

20 VERIFICHE NERVATURE PLATEA DI FONDAZIONE

La nervatura interna tipo della platea di fondazione ha le seguenti caratteristiche geometriche:

Larghezza B = 60,00 cm

Altezza H = 125,00 cm

20.1 Verifiche SLU – Flessione

Si assume di disporre *un'armatura longitudinale costituita da 4 $\phi 24$ superiori e inferiori continui, ed 8 correnti $\phi 16$ come illustrato nella figura seguente.*

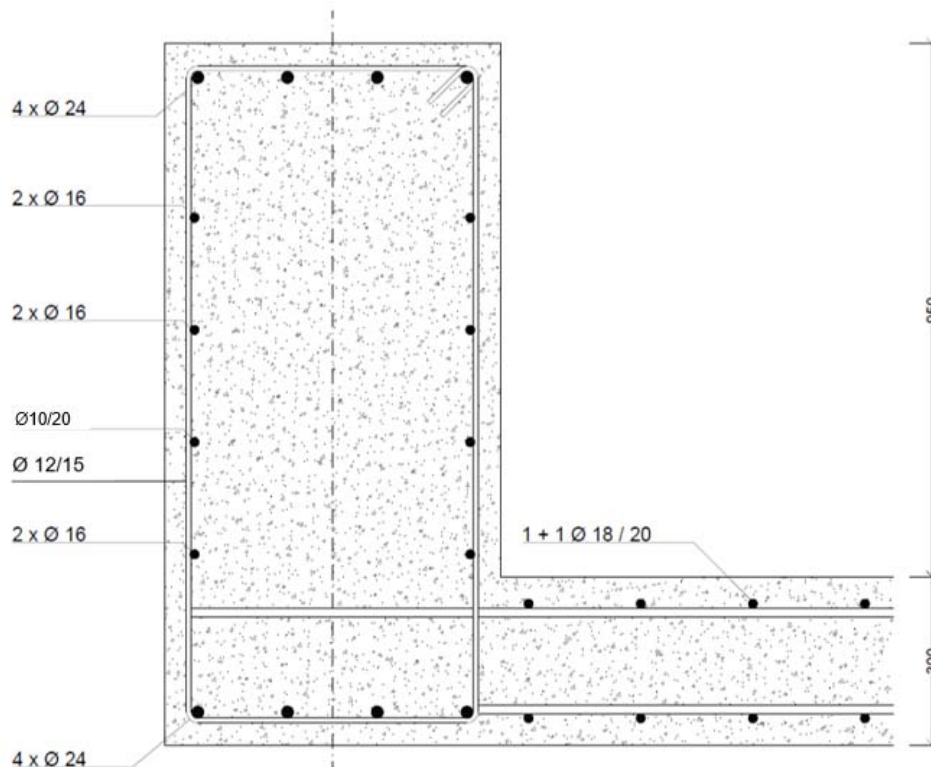


Figura 20.1 - Distribuzione armatura nervatura platea



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NBIR 02 D 26 CL FA0400 001 A 177 DI 225

Si riportano di seguito le sollecitazioni di calcolo, per l'elemento maggiormente sollecitato, in corrispondenza della sezione d'appoggio e della sezione di campata (convenzione sui segni: compressione negativa (-), momento flettente che tende le fibre superiori negativo (-)):

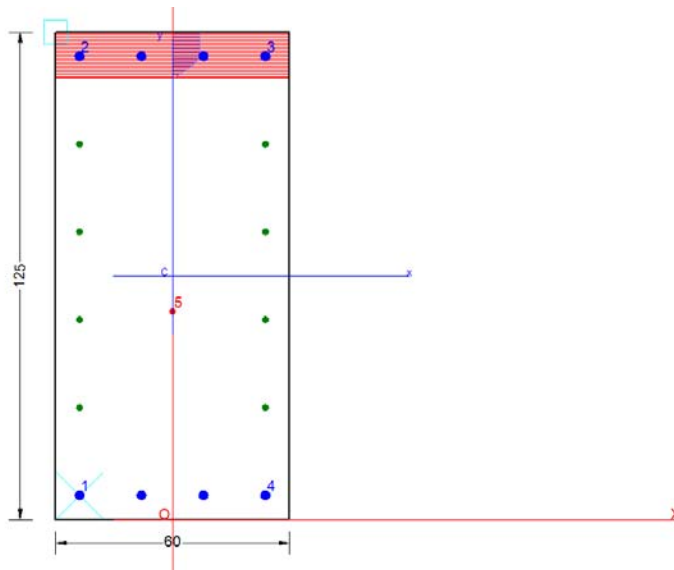
Come prescritto dalle NTC2018 nel paragrafo 7.2.5, poiché le sollecitazioni di calcolo più gravose si rilevano in corrispondenza della combinazione sismica SLV, andranno amplificate del fattore 1,1 per CDB.

Sollecitazioni SLU								
Telaio	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVXX_1	SLU_5_fond_A1	-461.738	-175.587	-111.864	-102.7075	88.1375	127.1357	min F2
NERVXX_5	SLU_5_fond_A1	-346.813	200.552	112.064	104.2753	-8.9563	374.9574	max F2
NERVYY_0	SLU_4_fond_A1	-260.551	-69.136	-273.672	-242.659	179.6543	-1.984	min F3
NERVY_0	SLU_4_fond_A1	-223.735	-30.603	273.861	242.7563	-179.6154	32.577	max F3
NERVYY_2	SLU_4_fond_A1	-364.909	-99.754	-28.424	-381.5985	-8.009	52.7899	min M1
NERVY_2	SLU_4_fond_A1	-335.808	-74.879	28.417	381.7722	8.004	63.6501	max M1
NERVY_0	SLU_4_fond_A1	-260.595	-69.288	252.679	202.0582	-205.7482	-2.1717	min M2
NERVYY_0	SLU_4_fond_A1	-223.811	-30.66	-252.732	-201.8728	205.6763	32.588	max M2
NERVX_7	SLU_5_fond_A1	283.447	-120.295	191.894	-7.8704	168.5742	-269.809	min M3
NERVXX_4	SLU_4_fond_A1	-492.237	128.541	27.741	87.1012	-34.1298	388.0188	max M3
Sollecitazioni SLV								
Section	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVXX_1	QKE2_fond_+	-290.482	-110.164	-73.284	-52.2279	67.8369	116.0174	min F2
NERVY_10	QKE1_fond_+	-136.562	125.906	-1.155	59.3245	7.4098	90.8733	max F2
NERVY_35	QKE2_fond_+	-165.356	33.843	-191.804	-146.391	865.4125	183.6084	min F3
NERVY_0	QKE2_fond_+	-180.086	-34.189	196.19	156.4916	-142.4328	14.1101	max F3
NERVYY_2	QKE1_fond_+	-252.628	-47.673	-17.561	-248.0714	-4.3092	49.241	min M1
NERVY_2	QKE2_fond_+	-253.556	-54.466	17.262	256.5307	4.7609	43.6821	max M1
NERVY_0	QKE2_fond_+	-180.086	-34.189	196.19	156.4916	-142.4328	14.1101	min M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	237.08	-68.788	158.455	13.9406	139.4928	-164.7897	max M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	237.08	-68.788	158.455	13.9406	139.4928	-164.7897	min M3
NERVXX_4	QKE2_fond_+	-381.226	68.38	19.493	41.0493	-25.1551	269.1483	max M3
Sollecitazioni SLV x 1,1								
Section	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Principali
NERVXX_1	QKE1_fond_+	-319.530	-121.180	-80.612	-57.451	74.621	127.619	min F2
NERVY_10	QKE1_fond_+	-150.218	138.497	-1.271	65.257	8.151	99.961	max F2
NERVY_35	QKE2_fond_+	-181.892	37.227	-210.984	-161.030	951.954	201.969	min F3
NERVY_0	QKE2_fond_+	-198.095	-37.608	215.809	172.141	-156.676	15.521	max F3
NERVYY_2	QKE2_fond_+	-277.891	-52.440	-19.317	-272.879	-4.740	54.165	min M1
NERVY_2	QKE2_fond_+	-278.912	-59.913	18.988	282.184	5.237	48.050	max M1
NERVY_0	QKE2_fond_+	-198.095	-37.608	215.809	172.141	-156.676	15.521	min M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	260.788	-75.667	174.301	15.335	153.442	-181.269	max M2
NERVX_7	QKE2_fond_+	260.788	-75.667	174.301	15.335	153.442	-181.269	min M3

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	178 DI 225

NERVXX_4	QKE2_fond_+	-419.349	75.218	21.442	45.154	-27.671	296.063	max M3
Sollecitazioni SLE rara								
Section	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVX_7	SLE_r_5_fond	210.677	-88.955	141.58	-3.1108	124.4477	-192.607	min M3
NERVXX_4	SLE_r_4_fond	-362.189	92.497	20.214	62.2301	-25.0728	282.8436	max M3
Sollecitazioni SLE frequenti								
Section	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVX_7	SLE_f_5_fond	227.184	-73.161	147.962	13.9218	130.1239	-148.1894	min M3
NERVXX_4	SLE_f_4_fond	-372.777	75.267	18.632	43.2953	-24.7884	265.6203	max M3
Sollecitazioni SLE quasi permanenti								
Section	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3	Sollecitazioni
Text		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	principali
NERVX_7	SLE_qp_fond	232.575	-69.768	150.444	17.8901	132.3242	-138.7867	min M3
NERVXX_4	SLE_qp_fond	-370.153	74.186	18.39	42.7407	-24.6687	261.2064	max M3


GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION
 Section Name: Section.secEC

Section description:	
Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	179 DI 225

CONCRETE -	Class:	C25/30	
	Design compressive strength fcd:	14.2	MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	7.1	MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020	
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle	
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	31475.8	MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	2.6	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	15.0	kN/cm ²
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	150.0	daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400	mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	11.25	Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300	mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C	
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00	MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0	MPa
	Design yield stress f_{yd} :	391.3	MPa
	Design strength f_{td} :	391.3	MPa
	Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C25/30

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-30.0	0.0
2	-30.0	125.0
3	30.0	125.0
4	30.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-23.8	6.2	24
2	-23.8	118.8	24
3	23.8	118.8	24
4	23.8	6.2	24
5	0.0	53.4	14

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	3	2	24
2	1	4	2	24
3	2	1	4	16
4	3	4	4	16

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	180 DI 225

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	389.00	0.00
2	0.00	-270.00	0.00

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: 5.0 cm
 Min distance between longitudinal bars: 13.5 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check Result of check
 N Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 Mx Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
 N ult Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
 Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
 S.F. Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
 As Tension Area [cm²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	389.00	0.00	1201.85	3.090	35.7(10.6)
2	OK	0.00	-270.00	0.00	-1190.89	4.411	35.7(10.6)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max Ultimate compressive strain in concrete
 ec* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
 Xc max X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 Yc max Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs max X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 Ys max Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)
 Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
 Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.01255	-30.0	125.0	0.00164	-23.8	118.8	-0.03210	-23.8	6.2
2	0.00350	-0.01255	-30.0	0.0	0.00164	-23.8	6.2	-0.03210	-23.8	118.8

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000299679	-0.033959894	0.098	0.700
2	0.000000000	-0.000299679	0.003500000	0.098	0.700

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	181 DI 225

20.2 Verifiche SLU – Taglio

Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica resistenza a taglio degli elementi non dotati di armature trasversali resistenti a taglio, si conduce controllando la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente, mentre V_{Rd} è la resistenza a taglio.

Si riporta di seguito la verifica sulla sezione massimamente sollecitata a taglio.

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 600$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1250$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 62$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 4$	Ø	24 = 18.10 cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm ²
$d = 1188$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm ²
$f_{cd} = 14.17$	MPa	resist. di calcolo			18.10 cm ²

• Sollecitazioni (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{Ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{Ed} = 273.0 \text{ kN}$$

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.410 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.293$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.003 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 223.3 \text{ kN}; \quad (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 208.9 \text{ kN} \quad (\text{con})$$

$$V_{Rd} = 223.3 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio

• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio:

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \quad 10 \text{ mm con } n^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2 \quad \text{passo } 20 \text{ cm} = 0.079 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha = 328.6 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 7.08 \text{ MPa} \quad \text{resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha) = 2272.2 \text{ kN}$$

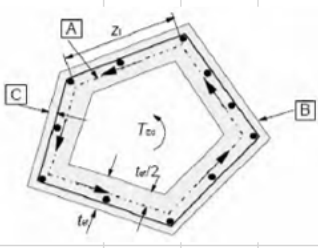
$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 328.6 > 273.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.2$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	182 DI 225

20.3 Verifiche SLU – Torsione

Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti NTC2018 4.1.2.3.6			
			
• Materiali:			
Calcestruzzo			
	C25/30		- seleziona calcestruzzo
f _{ck} =	25	Mpa	
α _{cc} =	0.85		
γ _c =	1.5		
f _{cd} =	14.1667	Mpa	
f _{cd} =	7.08333	Mpa	
Acciaio			
f _{yk} =	450	Mpa	
γ _s =	1.15		
f _{yd} =	391.30	Mpa	
f _{ywd} =	360.00	Mpa	
• Forze di progetto:			
T _{ed} =	400000000	N*mm	- momento torsionale di progettazione
V _{ed} =	263232	N	- forza di taglio di progettazione



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	183 DI 225

• Armatura di progetto:			
$\Sigma A_{s, long} =$	5230	mm ²	- area complessiva delle barre longitudinali
staffe $\varnothing =$	12	mm	
№ bracci (travv)=	2		
s =	150	mm	- passo delle staffe
Asw/s =	1.51	mm ² /mm	- staffe disponibili
• Resistenza torsionale e taglio NTC18 [4.1.34], [4.1.35]:			
longitudinali, il corrente compreso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti: $1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$ [4.1.25]			
$\theta =$	45	deg.	
$\text{cotg } \theta =$	1.00		
$\alpha =$	90.00	deg	- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
$\text{cotg } \alpha =$	0.000		
$\alpha_c =$	1.00		- angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave (1 per membrature non compresse)
$T_{Rcd} =$	597424202.42	N*mm	- Con riferimento al calcestruzzo la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.35]
$T_{Rsd} =$	491045089.73	N*mm	- Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.36]
$T_{Rld} =$	589462213.06	N*mm	- Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza di progetto si calcola con [NTC18: 4.1.37]
$T_{Rd} =$	491045089.73	N*mm	- $\min(T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rld})$
$V_{Rcd} =$	2314125.00	N	- resistenza di progetto a "taglio compressione" [NTC18: 4.1.27]
$T_{Rd} \geq T_{Ed}$			OK!
$T_{Ed}/T_{Rcd} =$	0.66954		
$V_{Ed}/V_{Rcd} =$	0.1138		
$T_{Ed}/T_{Rcd} + V_{Ed}/V_{Rcd} \leq 1$			OK! Non sono necessari armature supplementari!

20.4 Verifiche SLE

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- Verifiche di fessurazione:
- Verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame non è necessario effettuare le verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza (punto 7.3.7.1 delle NTC2018) dato che il fabbricato tecnologico in esame non ricade in classe d'uso III e IV.

a) Verifiche di fessurazione:

Per assicurare la funzionalità e la durata della struttura è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2018 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo stato limite di apertura delle fessure. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di

calcolo di apertura delle fessure (w_d) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- La verifica fessurazione è condotta cautelativamente con limie $w = 0.2$ mm in combinazione caratteristica.

Per rapidità di calcolo si verifica che nella combinazione SLE frequente l'apertura delle lesioni sia inferiore al valore limite (più severo) riferito alla combinazione quasi permanente.

b) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2018. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:
 - $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ (per combinazione caratteristica rara);
 - $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ (per combinazione quasi permanente);
- Per l'acciaio:
 - $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ (per combinazione caratteristica rara).

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso ottenuto tra le combinazioni rare e quasi permanenti.

Dalla verifica si evince che il momento massimo di calcolo (M_x) è inferiore ai valori ultimi, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
	N	Mx	My
1	0.00	282.85	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
	N	Mx	My
1	0.00	265.62 (477.94)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
	N	Mx	My
1	0.00	262.21 (477.94)	0.00 (0.00)



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	185 DI 225

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinate, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinate, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/As eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.57 (15.0)	-30.0	125.0	-115.1 (360.0)	7.9	6.2	1346	18.1	0.013

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm
 Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
 k2 = 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 Mx crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
 My crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00062	0	0.500	24.0	0.00035 (0.00035)	473	0.163	477.94	0.00

SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.41 (15.0)	-30.0	125.0	-108.1 (360.0)	7.9	6.2	1346	18.1	0.013

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00058	0	0.500	24.0	0.00032 (0.00032)	473	0.153 (0.40)	477.94	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.38 (11.3)	-30.0	125.0	-106.7 (360.0)	7.9	6.2	1346	18.1	0.013

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00057	0	0.500	24.0	0.00032 (0.00032)	473	0.151 (0.30)	477.94	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresses [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Web)	0.65	0.40	3750	0.43	0.01	1.50	---	27.7	6.9
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	3750	0.43	0.01	1.50	---	27.7	6.9

20.5 Verifiche di portanza

Si riportano di seguito le azioni globali valutate rispetto al baricentro della platea di fondazione, e la relativa pressione agente sul terreno:

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	q
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m ²
SLU_1_fond_A1	Combination	19.934	132.813	15833.78	197.2818	19315.487	62.773
SLU_1_fond_A1	Combination	-21.95	-133.557	15681.734	-191.3772	19109.129	62.171
SLU_3_fond_A1	Combination	20.006	132.813	16067.417	197.2818	19314.851	63.700
SLU_3_fond_A1	Combination	-22.133	-133.557	15824.528	-191.3772	19022.175	62.737
SLU_4_fond_A1	Combination	19.891	132.813	16098.86	197.2818	19317.476	63.824
SLU_4_fond_A1	Combination	-22.28	-134.292	15796.874	-191.7897	18970.247	62.627
SLU_5_fond_A1	Combination	33.806	221.355	15835.064	328.803	19336.494	62.779
SLU_5_fond_A1	Combination	-35.81	-222.105	15681.614	-318.687	19086.479	62.170
SLU_1_fond_A2	Combination	17.34	115.105	13062.092	170.9776	16738.806	51.785
SLU_1_fond_A2	Combination	-18.96	-115.749	12930.319	-165.8602	16559.963	51.263
SLU_3_fond_A2	Combination	17.402	115.105	13264.578	170.9776	16738.256	52.588
SLU_3_fond_A2	Combination	-19.119	-115.749	13054.074	-165.8602	16484.603	51.753
SLU_4_fond_A2	Combination	17.302	115.105	13291.828	170.9776	16740.531	52.696
SLU_4_fond_A2	Combination	-19.246	-116.386	13030.107	-166.2177	16439.599	51.658
SLU_5_fond_A2	Combination	29.362	191.841	13063.205	284.9626	16757.013	51.789
SLU_5_fond_A2	Combination	-30.972	-192.491	12930.215	-276.1954	16540.333	51.262
QKE1_fond_+	Combination	270.24	102.13	10511.074	226.443	10709.145	41.671
QKE2_fond_+	Combination	88.282	336.672	10592.246	743.9992	10406.335	41.993
QKE1_fond_-	Combination	-271.48	-102.13	10363.186	-226.443	9805.2848	41.085
QKE2_fond_-	Combination	-89.522	-336.672	10282.014	-743.9992	10108.095	40.763
	MAX		-271.48	336.672			63.824

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	187 DI 225

Si riporta di seguito la verifica della condizione più sfavorevole:

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c^*Nc^* sc^*dc^*ic^*bc^*gc + q^*Nq^*sq^*dq^*iq^*bq^*gg + 0,5\gamma^*B^*N\gamma^*s\gamma^*d\gamma^*r\gamma^*b\gamma^*g\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

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

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

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

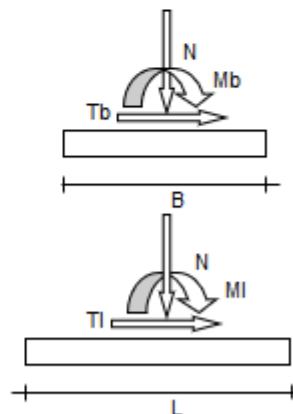
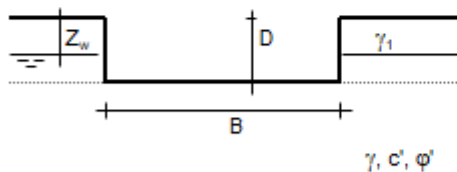
 L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2^*e_L$)

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

coefficienti parziali

Metodo di calcolo		azioni		proprietà del terreno	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'
Stato limite ultimo	⊙	1.00	1.30	1.25	1.60
Tensioni ammissibili	⊙	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dall'utente	⊙	1.00	1.00	1.00	1.00

valori suggeriti dall'EC7


 (Per fondazione nastriforme $L = 100$ m)

B	=	6.70	(m)
L	=	39.10	(m)
D	=	1.25	(m)

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	188 DI 225


AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporane e	
N [kN]	16099.00	0.00	16099.00
Mb [kNm]	198.00	0.00	198.00
MI [kNm]	19318.00	0.00	19318.00
Tb [kN]	133.00	0.00	133.00
TI [kN]	0.00	0.00	0.00
H [kN]	133.00	0.00	133.00

Peso unità di volume del terreno

$$\gamma_1 = 20.00 \text{ (kN/mc)}$$

$$\gamma = 20.00 \text{ (kN/mc)}$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

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

$$\varphi' = 36.00 \text{ (°)}$$

Valori di progetto

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

$$\varphi' = 36.00 \text{ (°)}$$

Profondità della falda

$$Z_w = 20.00 \text{ (m)}$$

$$e_B = 0.01 \text{ (m)}$$

$$e_L = 1.20 \text{ (m)}$$

$$B^* = 6.68 \text{ (m)}$$

$$L^* = 36.70 \text{ (m)}$$

q : sovraccarico alla profondità D

$$q = 25.00 \text{ (kN/mq)}$$

 γ : peso di volume del terreno di fondazione

$$\gamma = 20.00 \text{ (kN/mc)}$$

 N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

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

$$N_q = 37.75$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_c = 50.59$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	189 DI 225

$$N\gamma = 2^*(Nq + 1)*\tan\phi'$$

$$N\gamma = 56.31$$

 s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$$s_c = 1 + B^*Nq / (L^* Nc)$$

$$s_c = 1.14$$

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

$$s_q = 1.13$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4*B^* / L^*$$

$$s_\gamma = 0.93$$

 i_b, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.85 \quad \theta = \arctg(Tb/TI) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_q = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.15 \quad m = 1.85 \quad (-)$$

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme
 e $m=(m_b \sin^2\theta + m_q \cos^2\theta)$ in tutti gli altri

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

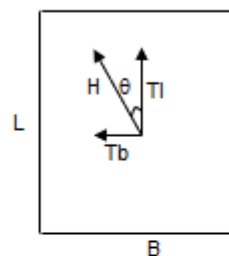
$$i_b = 0.98$$

$$i_c = i_b - (1 - i_b)/(Nq - 1)$$

$$i_c = 0.98$$

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

$$i_\gamma = 0.98$$


 d_o, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_o = 1 + 2 D \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_o = 1 + (2 \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2) * \arctan(D / B^*)$$

$$d_o = 1.05$$

$$d_c = d_o - (1 - d_o) / (Nc \tan\phi')$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	190 DI 225

$$d_c = 1.05$$

$$d_f = 1$$

$$d_f = 1.00$$

b_x, b_y, b_z : fattori di inclinazione base della fondazione

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

$$b_x = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_y = b_x$$

$$b_y = 1.00$$

g_x, g_y, g_z : fattori di inclinazione piano di campagna

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

$$g_x = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_y = g_x$$

$$g_y = 1.00$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	191 DI 225

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 4505.10 \quad (\text{kN/m}^2) \quad R3 \quad 2.30$$

$$q_{rd} = 1959 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

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

$$q = 65.71 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Coefficiente di sicurezza

$$F_s = q_{lim} / q = 68.56 \quad \text{OK}$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

$$H_d = 133.00 \quad (\text{kN})$$

$$S_d = N \cdot \tan(\varphi') + c' \cdot B \cdot L^*$$

$$S_d = 11696.61 \quad (\text{kN})$$

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$F_{scorr} = 87.94 \quad \text{OK}$$

La verifica è soddisfatta

21 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Per il calcolo dei cedimenti sotto la fondazione è necessario conoscere le tensioni indotte nel sottosuolo per applicazione del carico. Si fa riferimento al semispazio elastico, omogeneo e isotropo, con cui è possibile definire, in ogni punto del sottosuolo e per lo schema di carico assegnato, il valore delle tensioni indotte.

Ricavati ad ogni profondità z il corrispondente valore di $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$, si ricava il corrispondente valore di ε_z attraverso l'espressione:

$$\varepsilon_z = (\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y))/E$$

Si riportano le azioni massime di progetto nelle combinazioni SLE, come previsto al 6.4.2.2 dell'NTC18, riferite rispetto al baricentro della fondazione. Per il calcolo di tali azioni si rimanda alle relazioni di calcolo specifiche:

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
SLE_r_TOT_fond	Max	22.471	147.570	11427.854	219.202	12892.345	23.136
SLE_r_TOT_fond	Min	-23.940	-148.070	11149.690	-212.458	12648.181	-12.129
SLE_f_TOT_fond	Max	4.004	29.514	10755.130	43.840	11556.611	3.008
SLE_f_TOT_fond	Min	-5.240	-29.516	10437.090	-42.437	10220.180	-2.423

Tabella 1 - Carichi SLE

Per tener conto delle eccentricità, si assume cautelativamente una fondazione di dimensioni 6.70 x 34.00. Per il calcolo dei cedimenti si sono utilizzati dei valori ragionevolmente cautelativi del modulo di deformabilità E' :

DATI DI INPUT:

B =	6.70	(m)	(Larghezza della Fondazione)
L =	39.00	(m)	(Lunghezza della Fondazione)
N =	11428	(kN)	(Carico Verticale Agente)
q =	45.96	(kN/mq)	(Pressione Agente (q = N/(B*L)))
ns	=	3	(-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da	zi	a	Zi+1	Δzi	E	ν	δci
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(-)	(cm)
1	1	25.00	0.0	3.0	1.0	30000	0.30	1.04		
2	2	5.00	3.0	25.0	1.0	150000	0.30	0.88		
-			0.0	0.0	1.0		0.00	-		

Il valore massimo totale del cedimento del fabbricato è **1.13 cm**, inferiore a 3 cm, quindi compatibile con il funzionamento dell'opera. Poiché il terreno di fondazione è incoerente, tale valore risulta istantaneo e non è necessario valutare il decorso del cedimento nel tempo.

22 VASCA PER SERBATOIO

Si illustra di seguito il calcolo eseguito per il dimensionamento della vasca del serbatoio del gruppo elettrogeno a servizio del fabbricato.

22.1 Materiali

22.1.1 Calcestruzzo Vasca per Serbatoio

Per la realizzazione della struttura della vasca del serbatoio si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C30/37 ($R_{ck} \geq 37 \text{ N/mm}^2$), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cilindrica) $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione $\rightarrow \text{XC2}$
- Classe di Consistenza $\rightarrow \text{S4}$
- Resistenza Media a Compressione $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 33.019 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza $\rightarrow \gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 17,40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media $\rightarrow f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 2,94 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 2,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,37 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara) $\rightarrow \sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 18,43 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente) $\rightarrow \sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 13,82 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} = 3,24 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 2,16 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

Per quanto riguarda la scelta degli stati limite di fessurazione, per limitare quanto più possibile tale fenomeno, si conduce la verifica in riferimento alla Combinazione Caratteristica Rara, assumendo un valore limite di apertura delle fessure pari a $w_1 = 0,2 \text{ mm}$:

Combinazione delle Azioni Rara $\rightarrow w_d \leq w_1 = 0,2 \text{ mm}$

22.1.2 Acciaio da c.a.

Barre B450C

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

22.2 Caratterizzazione dei Terreni

22.2.1 Caratterizzazione Geotecnica

Le caratteristiche del terreno di riempimento a tergo del muro assunte nelle procedure di calcolo e verifica sono riportate nella tabella successiva:

TERRENO	$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	$c \text{ (kPa)}$
Riporto	19.50	26.00	0,00

dove:

γ = peso per unità di volume del terreno

ϕ = angolo di attrito interno del terreno

c = coesione efficace del terreno.

22.2.2 Caratterizzazione Sismica

In analogia a quanto previsto per il fabbricato, si assume per la struttura una Classe d'Uso IV e una Vita Utile pari a 50 anni.

Sulla base delle indicazioni contenute nella Relazione Geotecnica relativa al fabbricato, è possibile assumere una **Categoria di Sottosuolo B** ($S_s \leq 1,20$) e una **Categoria Topografia T1**, cui corrisponde un coefficiente topografico pari a $S_t = 1,00$.

Secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 al § 7.11.6.2.1, per la valutazione della sicurezza dell'opera in condizioni sismiche può essere eseguita un'analisi pseudo-statica, nell'ambito della quale l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Il coefficiente sismico orizzontale k_h può essere determinato, secondo quanto riportato in NTC 2018 § 7.11.6.2.1, mediante la seguente relazione:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

In cui

β_m = Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = Accelerazione massima attesa al sito, esprimibile come $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$

Trattandosi di un'opera non libera di subire spostamenti rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

	a_g [g]	F_0	S_s	S_T	β_m [-]	a_{max} [g]	k_h [-]
SLO	0,040	2,471	1,2	1	1	0,048	0,048
SLD	0,052	2,441	1,2	1	1	0,063	0,063
SLV	0,136	2,454	1,2	1	1	0,164	0,164

22.3 Soletta Superiore

Per il serbatoio interrato si prevede una lapide di chiusura superiore removibile, dotata di quattro anelli posti agli angoli per la manovra. La soletta di copertura viene dunque dimensionata considerando una striscia di larghezza unitaria e assumendo lo schema statico di trave doppiamente appoggiata con luce pari a 2,10 m.

22.3.1 Analisi dei Carichi

I carichi che gravano sulla soletta sono elencati di seguito:

- Carichi Permanenti Strutturali:

G_1 (Peso proprio) = $0,30 \times 25 = 7,50$ KN/m

- Carichi di Esercizio

Si considerano tre distinte configurazioni in cui agiscono le tipologie di carico Q_1 , Q_2 , Q_3 di seguito esemplificate:

$Q_1 = 10,00$ KN/m²

Categoria C (Ambienti suscettibili di Affollamento) § 5.2.2.2.2 NTC2018

$Q_2 = 60,00$ kN

Agente su un'impronta $0,60 \times 0,35$ m posizionato al centro della soletta

Categoria G (Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi con peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN) valutato secondo quanto riportato dal Codice della Strada, che all'Articolo 62

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	196 DI 225

punto 5 specifica che “qualunque sia il tipo di veicolo, la massa gravante sull’asse più caricato non deve eccedere le 12 tonnellate”. Il carico sarà considerato agente secondo lo schema di carico 2 di Figura 5.1.2 delle NTC 2018, assumendo complessivamente un valore di 6 tonnellate su un’impronta di 0,60x0,35m.

$$Q_3 = 60,00 \text{ kN}$$

agente su un’impronta 0,60x0,35 m posizionato sull’appoggio della soletta, in corrispondenza del piedritto destro.

Categoria G, come descritto per il precedente carico Q_2 .

$$Q_{neve} = 1,23 \text{ kN/m}$$

22.3.2 Sollecitazioni Soletta Superiore

Sono state considerate le condizioni di carico più gravose per il calcolo del momento flettente e del taglio.

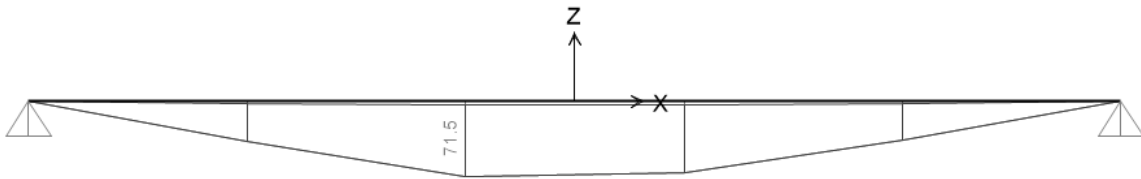


Figura 22.1 - Diagramma del Momento Flettente - Combinazione Inviluppo SLU/SLV

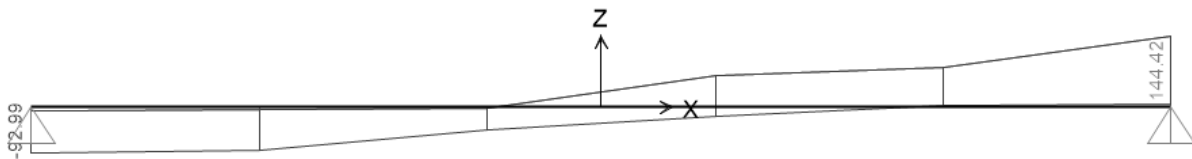


Figura 22.2 - Diagramma del Taglio - Combinazione Inviluppo SLU/SLV

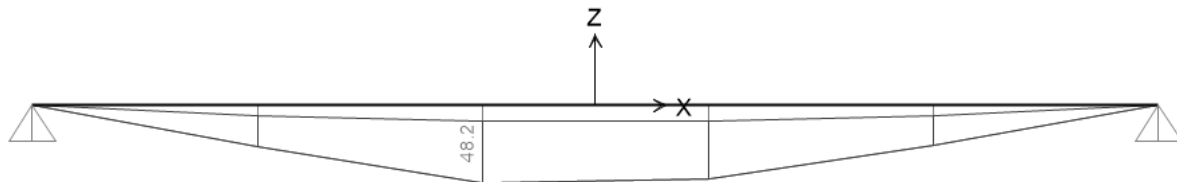


Figura 22.3 - Diagramma del Momento Flettente - Combinazione Involuppo SLE Rara

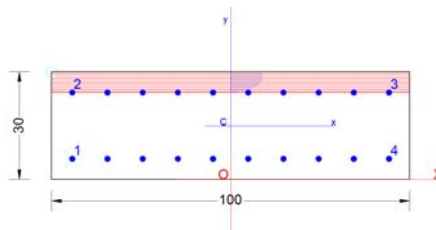
22.3.3 Verifica Soletta Superiore

Si riportano le verifiche dei piedritti sia allo SLU che allo SLE per la sezione maggiormente sollecitata.

Spessore: 30 cm

Armatura: 1+1 Φ 14/10

Copriferro netto: 40 mm



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Sezione_Soletta_Superiore.secEC

Section description:	
Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	32836.6 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	198 DI 225

Design yield stress fyd:	391.3	MPa
Design strength ftd:	391.3	MPa
Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	5.0	14
2	-45.0	25.0	14
3	45.0	25.0	14
4	45.0	5.0	14

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	3	8	14
2	1	4	8	14

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	71.50	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	48.20	0.00



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	199 DI 225

CHECKS RESULTS

Min edge cover of longitudinal bars: 4.3 cm
 Min distance between longitudinal bars: 8.6 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult, My ult) to (N, Mx, My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	71.50	0.00	140.24	1.961	15.4(4.2)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

Parameter	Description
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00594	-50.0	30.0	-0.00017	45.0	25.0	-0.01485	-45.0	5.0

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

Parameter	Description
a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000733838	-0.018515143	0.191	0.700

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Check	Description
Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.50 (18.0)	-50.0	30.0	-142.9 (360.0)	-45.0	5.0	750	15.4	0.021



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	200 DI 225

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}									
e1	Result of check									
e2	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section									
k1	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section									
kt	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]									
k2	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]									
k3	= 0.5 for bending; = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]									
k4	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex									
\emptyset	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex									
e sm - e cm	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in $A_{c\text{eff}}$ [eq.(7.11)]									
sr max	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]									
wk	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 \cdot S_{\text{max}} / E_s$									
MX crack	Max final crack [mm] spacing									
MY crack	Calculated value [mm] of crack width = $sr \cdot \text{max} \cdot (e \text{ sm} - e \text{ cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets									
Comb.N.	Check	e1	e2	k2	\emptyset	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00093	0	0.500	14.0	0.00043 (0.00043)	262	0.112	52.36	0.00

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO – SLU_SLV

Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica resistenza a taglio degli elementi non dotati di armature trasversali resistenti a taglio, si conduce controllando la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente, mentre V_{Rd} è la resistenza a taglio.

Si riporta di seguito la verifica sulla sezione dei piedritti massimamente sollecitata a taglio.

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w =$	1000	mm	larghezza	$f_{yk} =$	450	MPa	resist. caratteristica
$h =$	300	mm	altezza	$\gamma_s =$	1.15		coeff. sicurezza
$c =$	64	mm	copriferro	$f_{yd} =$	391.3	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} =$	30	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:			
$\gamma_c =$	1.50		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} =$	10	\emptyset	14 = 15.39 cm ²
$\alpha_{cc} =$	0.85		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	0	\emptyset	0 = 0.00 cm ²
$d =$	236	mm	altezza utile	$A_{sl,3} =$	0	\emptyset	0 = 0.00 cm ²
$f_{cd} =$	17.00	MPa	resist. di calcolo				15.39 cm ²

• Sollecitazioni (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} =$	0.0	kN	$V_{ed} =$	145.0	kN
------------	-----	----	------------	-------	----

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k =$	1.921	< 2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} =$	0.510	

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.007 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 146.6 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 120.4 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 146.6 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

22.4 Piedritti e Soletta Inferiore

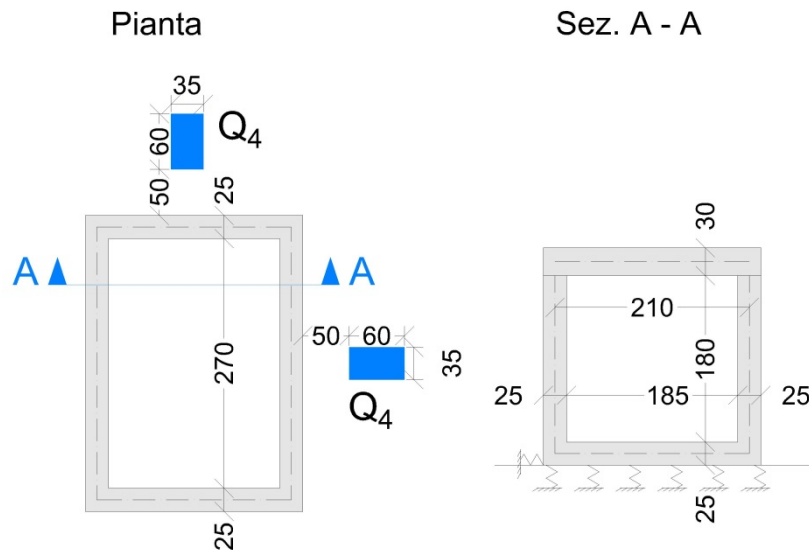


Figura 22.4 – Pianta e Sezione tipo della vasca per il serbatoio del Gruppo Elettrogeno

I piedritti e la soletta inferiore sono stati studiati con un apposito modello di calcolo mediante il software SAP2000 v.21.0.2.

Il manufatto è stato modellato in 2D, a vantaggio di sicurezza, con elementi frame aventi larghezza unitaria.

Il terreno è stato schematizzato come un letto di molle, avendo assunto il coefficiente di sottofondo del terreno stesso pari a $K_v = 10000 \text{ kN/m}^3$ in direzione verticale e pari a $K_h = 3300 \text{ kN/m}^3$ in direzione orizzontale.

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle, ottenendo per le 5 molle centrali un valore di:

$$K_{centrale} = K_v * (L_p/2 + L_{int} + L_p/2) / 10$$

$$K_{centrale} = 10000 * (0.25/2 + 2.95 + 0.25/2) / 10$$

$$K_{centrale} = 3200 \text{ kN/m}$$

I valori delle molle di spigolo si ottengono con la seguente formulazione:

$$K3 = K1 = 2 \cdot K_v \cdot [(L_p/2 + L_{int} + L_p/2) / 10/2 + (L_p/2)]$$

$$K3 = K1 = 2 \cdot 10000 \cdot [(0.25/2 + 2.95 + 0.25/2) / 10/2 + (0.25/2)]$$

$$K3 = K1 = 5700$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 5,6,12 e 13 come da letteratura si assumono:

$$K5 = K6 = K12 = K13 = 1.5 \cdot K_{centrale}$$

$$K5 = K6 = K12 = K13 = 1.5 \cdot 3200$$

$$K5 = K6 = K12 = K13 = 4800 \text{ kN/m}$$

22.4.1 Analisi dei Carichi

- Carichi Permanenti Strutturali:

Il peso degli elementi strutturali modellati viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato, assumendo un peso per unità di volume del calcestruzzo pari a $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$

- Carichi trasmessi dalla Soletta Superiore:

Si riportano i carichi che la soletta superiore scarica sui piedritti:

$$G_1 = 7,87 \text{ KN}$$

$$Q_1 = 10,50 \text{ KN}$$

$$Q_2 = 51,43 \text{ KN}$$

$$Q_{3ds} = 88,16 \text{ KN} \text{ – piedritto destro}$$

$$Q_{3sx} = 14,69 \text{ KN} \text{ – piedritto sinistro}$$

$$Q_{neve} = 1,29 \text{ kN}$$

- Carichi agenti sulla Soletta di Fondazione:

Il carico agente sulla soletta di fondazione associato alla presenza del serbatoio e della sabbia contenuti nella vasca può essere stimato come segue:

$$F_p (G_2) = 28,00 \text{ kN/m}^2$$

- Spinta del Terreno

Per la determinazione della spinta del terreno sulle pareti verticali dello scatolare si considera il coefficiente di spinta a riposo k_0 , valutato mediante la seguente espressione:

$$k_0 = 1 - \tan \varphi = 0,562$$

La spinta a riposo del terreno alla base del piedritto viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_t(z = H) = \gamma \cdot k_0 \cdot H = 21,10 \text{ kN/m}$$

dove:

γ è il peso per unità di volume del terreno di riporto

k_0 è il coefficiente di spinta a riposo

H è l'altezza complessiva dello strato di terreno considerato assunta pari a $1,80+0,125 = 1,925$ m.

- Spinta dovuta ai Sovraccarichi Permanenti

Assumendo un sovraccarico permanente agente $p = 10,00$ kN/m² agente a tergo della vasca, la spinta del terreno a questo associata può essere valutata con la relazione seguente:

$$S_{cp}(G_2) = p \cdot k_0 = 5,62 \text{ KN/m}$$

- Spinta dovuta ai Sovraccarichi Accidentali

In riferimento alle configurazioni di carico considerate per la soletta superiore descritte al §22.3.1, è possibile assumere i seguenti valori di spinta:

$$Q_1 \quad S_{Q1} = Q_1 \cdot k_0 = 5,62 \text{ kN/m}$$

$$Q_2 \quad S_{Q2} = 0 \text{ poiché il carico agisce soltanto sulla soletta}$$

$$Q_3 \quad S_{Q3} = 0 \text{ poiché il carico agisce soltanto sulla soletta}$$

Si considera inoltre una quarta configurazione di carico in cui si assume un carico Q4 sempre di categoria G di valore pari a 60,00 kN agente su un'impronta di 0,60x0,35 m a tergo del piedritto, secondo lo schema indicato in Figura 22.4. Assumendo che le pressioni prodotte da tale carico interessino una striscia della parete del serbatoio di larghezza unitaria, la spinta del terreno ad esse associata può essere assimilata al seguente carico distribuito, agente sulla parete del serbatoio interessata:

$$Q_4 \quad S_{Q4} = 60 / (0,60 \cdot 0,35) = 285,72 \cdot 0,562 = 161 \text{ kN/m}$$

- Azione Sismica – Azione Inerziale delle Masse

Le azioni inerziali, orizzontali e verticali, dovute alle accelerazioni subite in fase sismica dalle masse degli elementi strutturali e del terreno, vengono valutate moltiplicando il peso degli elementi strutturali per il coefficiente sismico orizzontale k_h .

Le forze sismiche inerziali considerate per il dimensionamento della vasca e valutate per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) sono di seguito riepilogate:

$$F_{i,pied} = k_h \cdot W_{pied} = 0,152 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 25 = 0,95 \text{ KN/m}$$

- Azione Sismica – Sovrappinta Dinamica dei Terreni

La sovrappinta del terreno in condizioni sismiche può essere definita secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1998-5. In particolare, la norma, all'interno dell'Appendice E punto E.9, esprime la sovrappinta del terreno per strutture rigide nel modo seguente (metodo di Wood):

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

Come prescritto al § 7.11.6.2.1 delle NTC 2018, si assume che l'incremento di spinta dovuta al sisma sia applicato a metà altezza del piedritto, sul quale agirà dunque il seguente carico uniformemente distribuito:

$$\Delta P_d (SLV) = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma_{medio} \cdot H = 0,152 \cdot 19,50 \cdot 1,925 = 5,71 \text{ kN/m}$$

22.4.2 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:
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione caratteristica (rara):
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- 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_{K_C}	Q_{Neve}	Q_{K_G}
Ψ_0	0,70	0,50	0,70
Ψ_1	0,70	0,20	0,50
Ψ_2	0,60	0,00	0,30

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 γ_F riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I delle NTC 2018, di seguito riportata.



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NB1R 02 D 26 CL FA0400 001 A 205 DI 225

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali relativi alle azioni per le verifiche agli SLU

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

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

	G_1	R_{G1}	R_{Q1}	R_{Q2}	R_{Q3}	R_{neve}	$F_{p,G2}$	S_t	S_{ep}	S_{Q1}	S_{Q4}	$F_{i,sol,ped}(SLV)$	$\Delta Pd(SLV)$	
SLU_1	1,30	1,30	1,50	0,00	0,00	0,75	1,50	1,30	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q1
SLU_2	1,30	1,30	0,00	1,50	0,00	0,75	1,50	1,30	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q2
SLU_3	1,30	1,30	0,00	0,00	1,50	0,75	1,50	1,30	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q3
SLU_4	1,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,75	1,50	1,30	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q4
SLV_1_+	1,00	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,00	1,00	1,00	Carico di Esercizio Q1
SLV_2_+	1,00	1,00	0,00	0,30	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	Carico di Esercizio Q2
SLV_3_+	1,00	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,50	1,00	1,00	Carico di Esercizio Q3
SLV_4_+	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,30	1,00	1,00	Carico di Esercizio Q4
SLV_1_-	1,00	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,00	-1,00	-1,00	Carico di Esercizio Q1
SLV_2_-	1,00	1,00	0,00	0,30	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	-1,00	-1,00	Carico di Esercizio Q2
SLV_3_-	1,00	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,50	-1,00	-1,00	Carico di Esercizio Q3
SLV_4_-	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,30	-1,00	-1,00	Carico di Esercizio Q4
SLE_rara_1	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q1
SLE_rara_2	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q2
SLE_rara_3	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q3
SLE_rara_4	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q4
SLE_freq_1	1,00	1,00	0,70	0,00	0,00	0,20	1,00	1,00	1,00	0,70	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q1
SLE_freq_2	1,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,20	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q2
SLE_freq_3	1,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,20	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q3
SLE_freq_4	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,00	1,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q4
SLE_qp_1	1,00	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q1
SLE_qp_2	1,00	1,00	0,00	0,30	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q2
SLE_qp_3	1,00	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q3
SLE_qp_4	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,30	0,00	0,00	Carico di Esercizio Q4

22.4.3 Sollecitazioni Piedritti e Soletta Inferiore

Si riporta di seguito la distribuzione delle sollecitazioni negli elementi del manufatto per le diverse combinazioni considerate:

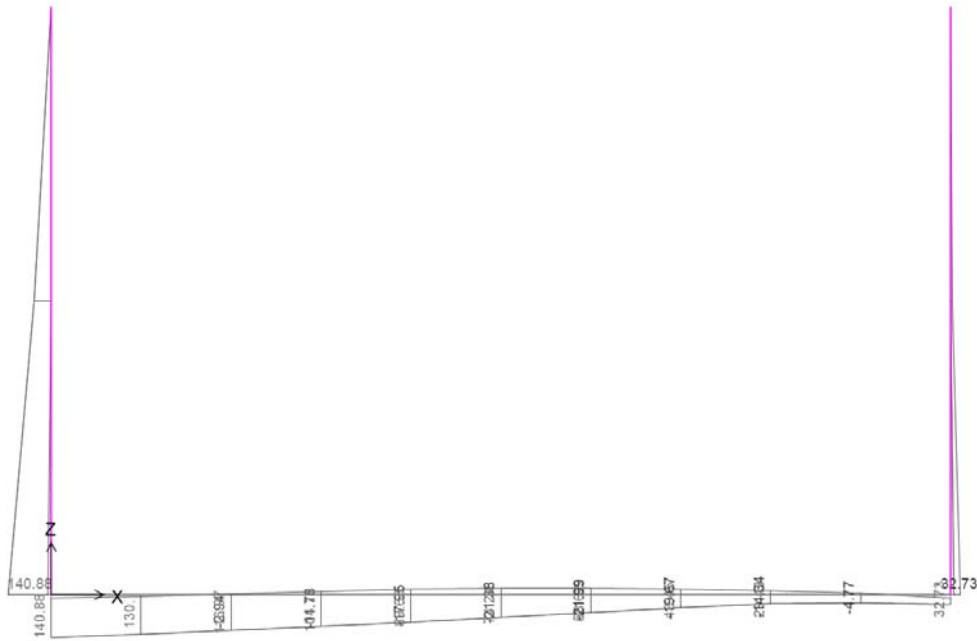


Figura 22.5 – Diagramma del Momento Flettente - Combinazione Inviluppo SLU-SLV

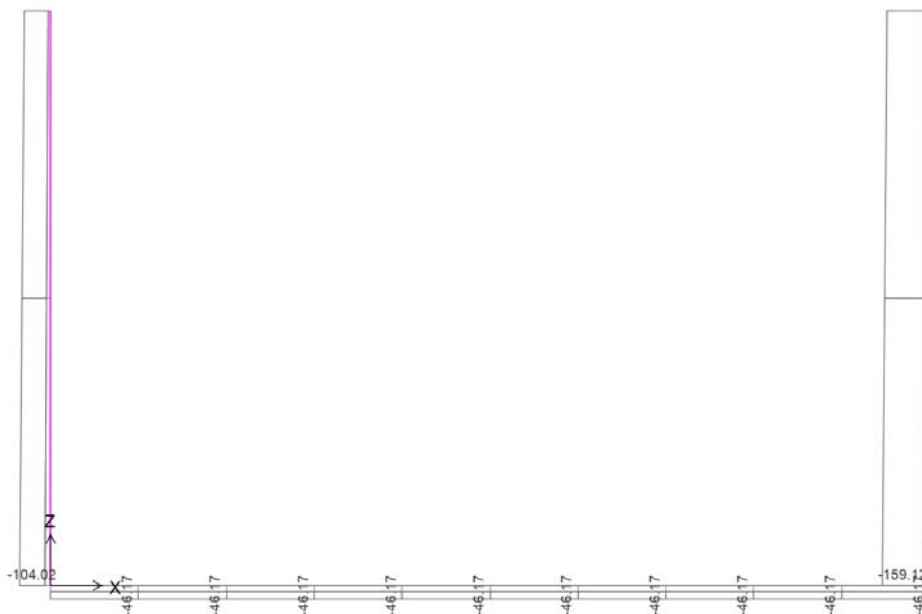


Figura 22.6 – Diagramma dello Sforzo Normale - Combinazione Inviluppo SLU-SLV

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL FA0400 001	A	207 DI 225

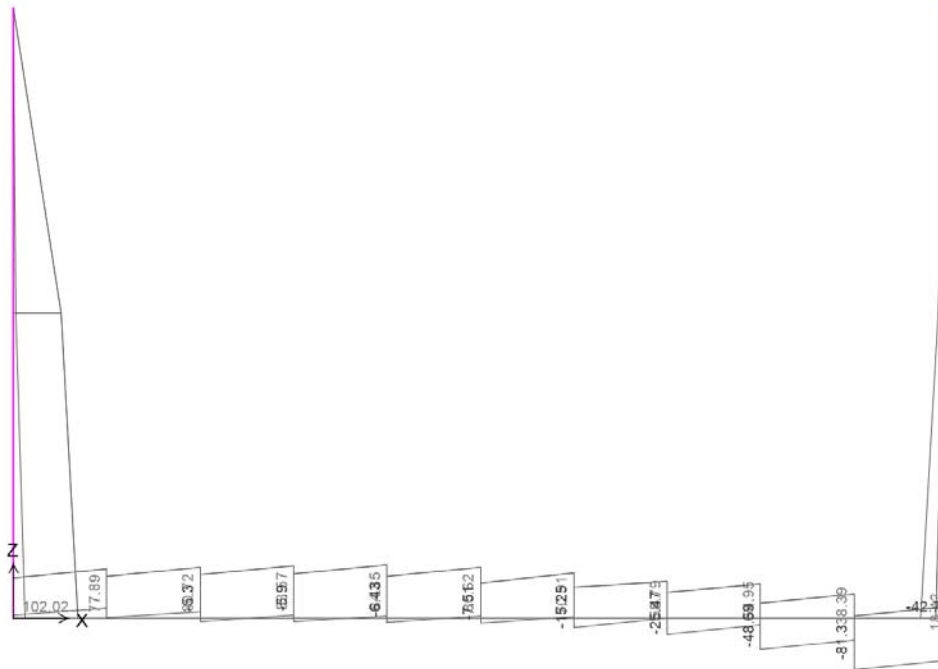


Figura 22.7 – Diagramma del Taglio V22 - Combinazione Involuppo SLU-SLV

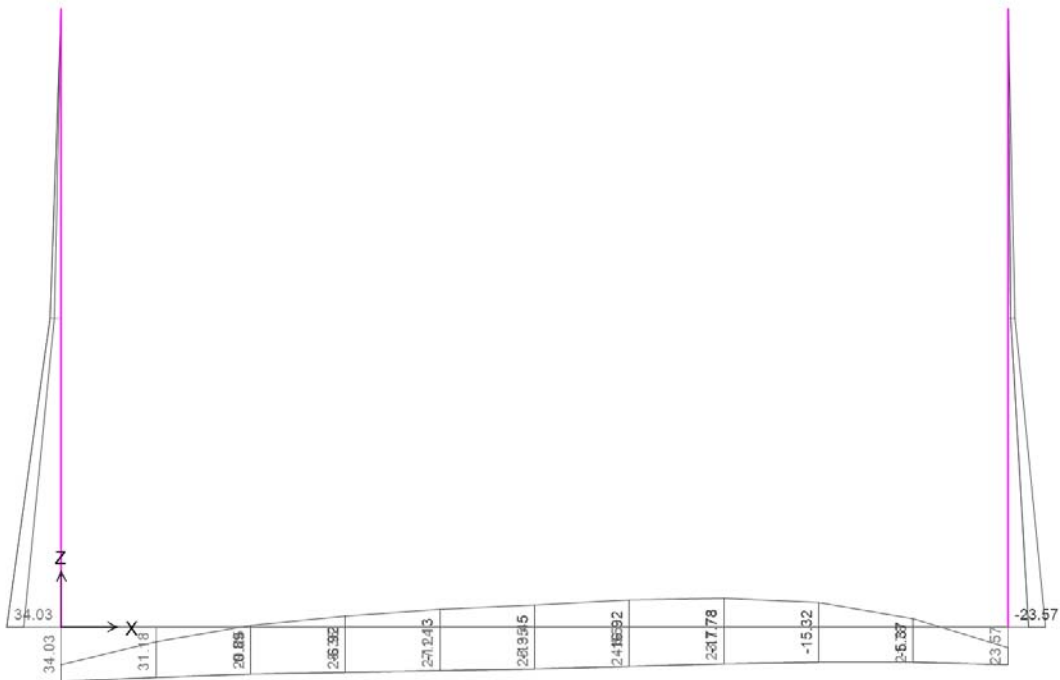


Figura 22.8 – Diagramma del Momento Flettente - Combinazione Involuppo SLE Rara

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	208 DI 225

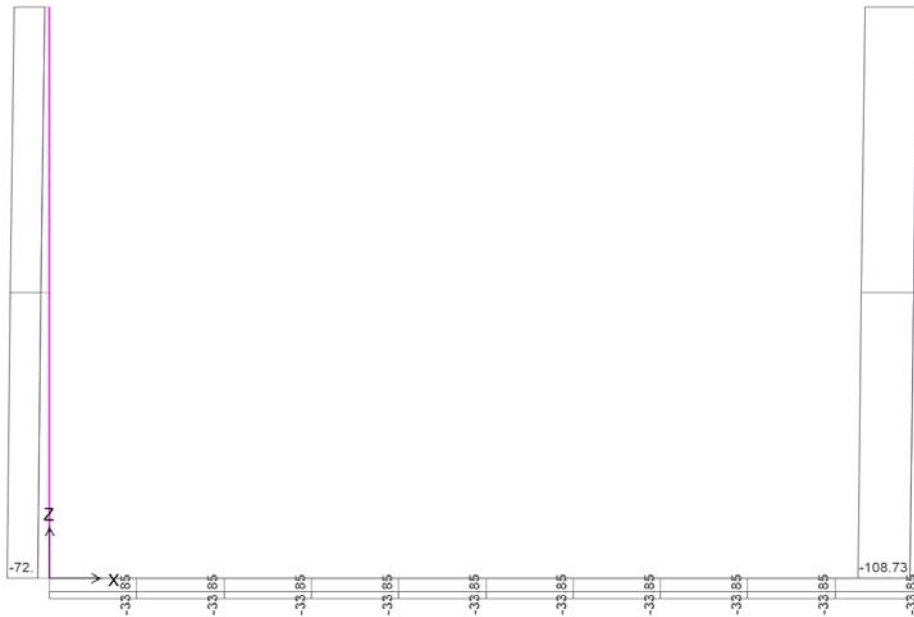


Figura 22.9 – Diagramma dello Sforzo Normale- Combinazione Involuppo SLE Rara

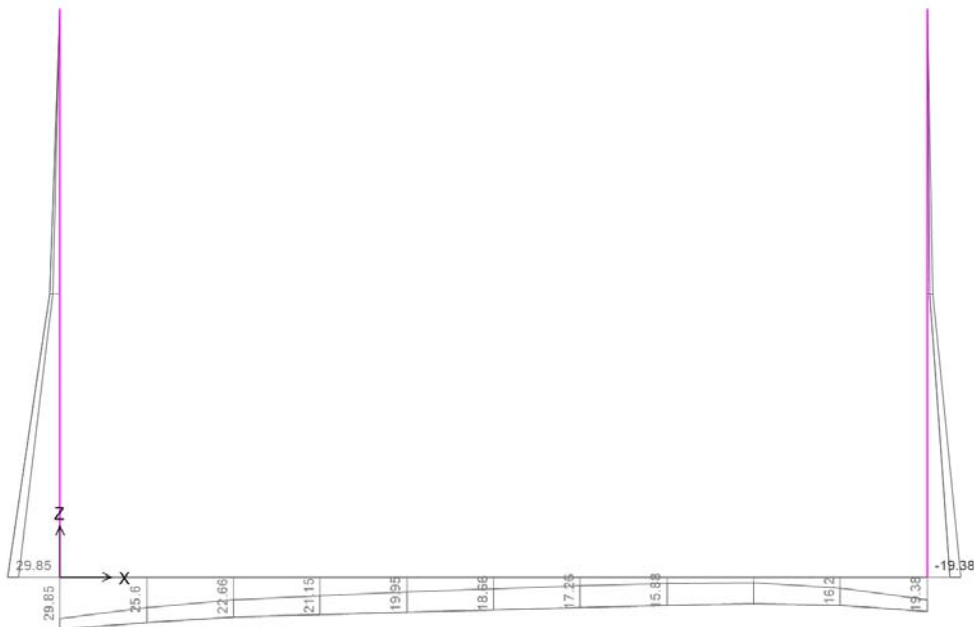


Figura 22.10 – Diagramma del Momento Flettente - Combinazione Involuppo SLE Quasi Permanente



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	210 DI 225

Cross-section shape: Rectangular
 Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS
 Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37	
	Design compressive strength fcd:	17.0	MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020	
	Ultimate strain ecu:	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle	
	Mean elastic modulus Ecm:	32836.6	MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0	MPa
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5	MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.300	mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.0	MPa
	Tensile strength ftk:	540.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA

Width:	100.0	cm
Depth:	25.0	cm
Bottom bars:	10Ø16	(20.1 cm ²)
Top bars:	10Ø16	(20.1 cm ²)
Low Cover (from centroid of bar):	5.2	cm
Top Cover (from centroid of bar):	5.2	cm
Web Cover (from centroid of bar):	4.0	cm

ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	104.02	141.00	0.00	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	72.00	34.03



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	211 DI 225

SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

Comb.N.	N	Mx
1	35.36	30.00

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)
Mx Moment force [kNm] around x axis
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

CHECKS RESULTS

Checks of section OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: 3.2 cm
Min edge distance between longitudinal bars: 8.6 cm

ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm ²] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm²] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	104.02	141.00	103.90	144.60	1.026	19.3	138.93	---	---	---
---	----	--------	--------	--------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----

ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.00313	25.0	0.00028	19.8	-0.00876	5.2

ec max Ultimate compressive strain in concrete
ec* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Check	Result of Check
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	212 DI 225

Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]
 Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 hc eff. Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]
 (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	4.33	25.0	0.00	16.3	-83.3	19.8	5.4	544	20.1	10.0

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
 k2 = 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
 Ø | c Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
 r eff Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00061	0	0.500	16 4.4	0.037	0.000250 (0.00025)	223	0.056	41.27

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	3.79	25.0	0.00	16.8	-80.4	19.8	5.6	560	20.1	10.0

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00058	0	0.500	16 4.4	0.036	0.000241 (0.00024)	225	0.054 (0.30)	39.57

SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL [§ 7.3.2 EC2]

N.Comb. SLS combination number
 Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent
 Region Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
 k Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
 kc Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
 Ac eff Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
 Ned SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
 Sc =Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
 Frc Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
 k1 Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
 As reg Area [cm²] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
 As min Minimum Area [cm²] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
---------	-----------	--------	---	----	--------	-----	----	----	-----	--------	--------

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	214 DI 225

22.4.5 Verifiche Soletta inferiore

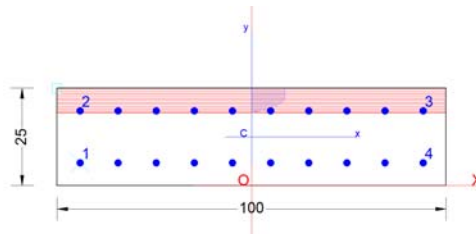
Si riportano le verifiche sia allo SLU che allo SLE per la soletta inferiore nella sezione maggiormente sollecitata.

Spessore: 25 cm

Armatura: 1+1 Φ 18/10

Copriferro netto = 40 mm

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE – SLU_SLV



GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: Sezione_Soletta_fondz.secEC

Section description:

Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	8.5 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	32836.6 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	18.0 kN/cm ²
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	13.50 Mpa
Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm	
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa
	Design yield stress f_{yd} :	391.3 MPa
	Design strength f_{td} :	391.3 MPa
	Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - S_s Limit:	360.00 MPa	



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	215 DI 225

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C30/37

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	25.0
3	50.0	25.0
4	50.0	0.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.8	5.2	18
2	-44.8	19.8	18
3	44.8	19.8	18
4	44.8	5.2	18

DATA OF LINEAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

N. Gen. Number of generated bars of the current linear generation
 N.Initial Bar Order number of initial bar (between the isolated bars just defined)
 N.Final Bar Order number of final bar (between the isolated bars just defined)
 N. Bars Number of bars generated equidistant in the current generation
 Ø Diameter [mm] of generated bars

Gen.N.	Initial Bar	Final Bar	N. Bars	Ø
1	2	3	8	18
2	1	4	8	18

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d Design bending force [kNm] around X axis of reference system
 VY d Design shear component [kN] parallel to Y reference axis

Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	141.00	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	34.03	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
 MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	30.00 (39.60)	0.00 (0.00)



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	216 DI 225

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: 4.3 cm
 Min distance between longitudinal bars: 8.2 cm

ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm ²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	0.00	141.00	0.00	167.64	1.189	25.4(3.3)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

Parameter	Description
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00293	-50.0	25.0	0.00038	44.8	19.8	-0.00838	-44.8	5.2

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

Parameter	Description
a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000599967	-0.011499165	0.295	0.808

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Parameter	Description
Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	217 DI 225

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.79 (18.0)	-50.0	25.0	-81.3 (360.0)	-44.8	5.2	550	25.4	0.046

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}
e1	Result of check
e2	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
k1	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
kt	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
k2	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k3	= 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
Ø	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
e sm - e cm	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
sr max	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
wk	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 S_{max} / E_s$
MX crack	Max final crack [mm] spacing
MY crack	Calculated value [mm] of crack width = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
	First cracking bending moment around X axis[kNm]
	First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00059	0	0.500	18.0	0.00024 (0.00024)	212	0.052	39.60	0.00

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.34 (13.5)	-50.0	25.0	-71.6 (360.0)	-44.8	5.2	550	25.4	0.046

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00052	0	0.500	18.0	0.00021 (0.00021)	212	0.046 (0.30)	39.60	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Ac = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Quasi-perm.	1 (Web)	1.00	0.40	1250	---	---	---	-137.15	25.4	4.0

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO – SLU_SLV

Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica resistenza a taglio degli elementi non dotati di armature trasversali resistenti a taglio, si conduce controllando la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente, mentre V_{Rd} è la resistenza a taglio.

Si riporta di seguito la verifica sulla sezione della soletta inferiore massimamente sollecitata a taglio.

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$ mm	larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa	resist. caratteristica
$h = 250$ mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$	coeff. sicurezza
$c = 60$ mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$ MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:	
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$ Ø	$18 = 25.45$ cm ²
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$ Ø	$0 = 0.00$ cm ²
$d = 190$ mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$ Ø	$0 = 0.00$ cm ²
$f_{cd} = 17.00$ MPa	resist. di calcolo		25.45 cm ²

• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 82.0 \text{ kN}$$

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 2.000$	< 2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.542$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.013$	< 0.02
$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	< 0.2
		MPa f_{cd}

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 156.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 103.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 156.2 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

22.5 Verifiche di portanza

Si riportano di seguito le azioni globali valutate rispetto al baricentro della platea di fondazione, e la relativa pressione agente sul terreno:

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFZ	GlobalMY	q
Text	Text	KN	KN	KN-m	KN-m ²
SLU_1	Combination	-16.270	233.112	-15.701	53.78928
SLU_2	Combination	-16.270	355.902	-15.701	82.12239
SLU_3	Combination	-74.230	355.887	-283.160	82.11893



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

FA04 - Fabbicato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbicato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	219 DI 225

SLU_4	Combination	-74.230	201.612	-120.608	46.52084
SLV_1+	Combination	-25.534	153.490	-24.640	35.41696
SLV_2+	Combination	-25.534	171.748	-24.640	39.62989
SLV_3+	Combination	-83.494	171.745	-162.058	39.62919
SLV_4+	Combination	-37.126	140.890	-45.622	32.50958
SLV_1-	Combination	3.841	153.490	3.706	35.41696
SLV_2-	Combination	3.841	171.748	3.706	39.62989
SLV_3-	Combination	-54.119	171.745	-133.712	39.62919
SLV_4-	Combination	-7.751	140.890	-17.275	32.50958
MAX					82.123

Si riporta di seguito la verifica della condizione più sfavorevole:

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	220 DI 225

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c^*Nc^* sc^*dc^*ic^*bc^*gc + q^*Nq^*sq^*dq^*iq^*bq^*gq + 0,5^*\gamma^*B^*N\gamma^*s\gamma^*d\gamma^*r\gamma^*b\gamma^*g\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

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

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

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

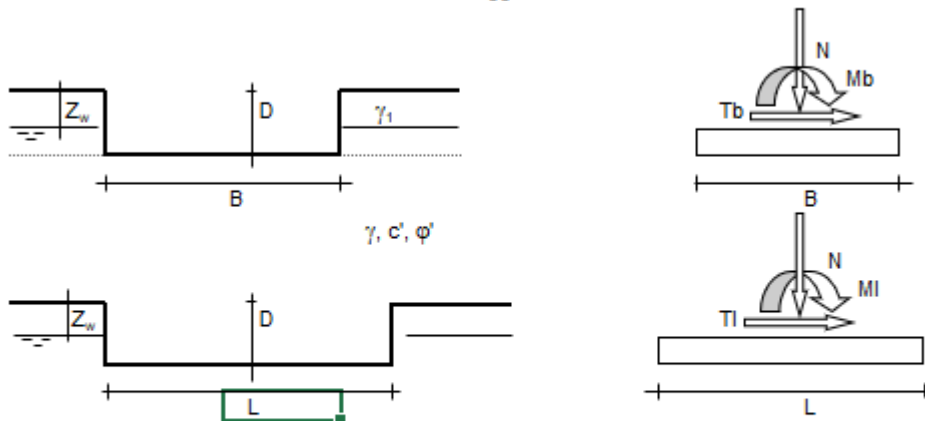
L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2^*e_L$)

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

coefficienti parziali

Metodo di calcolo		azioni		proprietà del terreno	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'
Stato limite ultimo	⊙	1.00	1.30	1.25	1.60
Tensioni ammissibili	⊙	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dall'utente	⊗	1.00	1.00	1.00	1.00

valori suggeriti dall'EC7

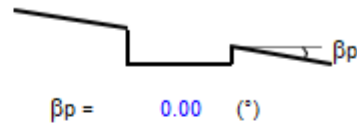


(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B	=	2.35	(m)
L	=	1.00	(m)
D	=	2.35	(m)

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	221 DI 225


AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporane e	
N [kN]	356.00	0.00	356.00
Mb [kNm]	16.00	0.00	16.00
MI [kNm]	0.00	0.00	0.00
Tb [kN]	17.00	0.00	17.00
TI [kN]	0.00	0.00	0.00
H [kN]	17.00	0.00	17.00

Peso unità di volume del terreno

$$\gamma_1 = 20.00 \text{ (kN/mc)}$$

$$\gamma = 20.00 \text{ (kN/mc)}$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

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

$$\varphi' = 36.00 \text{ (°)}$$

Valori di progetto

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

$$\varphi' = 36.00 \text{ (°)}$$

Profondità della falda

$$Z_w = 20.00 \text{ (m)}$$

$$e_B = 0.04 \text{ (m)}$$

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

$$B^* = 2.26 \text{ (m)}$$

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

q : sovraccarico alla profondità D

$$q = 47.00 \text{ (kN/mq)}$$

 γ : peso di volume del terreno di fondazione

$$\gamma = 20.00 \text{ (kN/mc)}$$

 N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

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

$$N_q = 37.75$$

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

$$N_c = 50.59$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	222 DI 225

$$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan\phi'$$

$$N\gamma = 56.31$$

 s_c, s_q, s_γ : **fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_c = 2.69$$

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

$$s_q = 2.64$$

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

$$s_\gamma = 0.10$$

 i_q, i_γ : **fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.31 \quad \theta = \arctg(Tb/TI) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.69 \quad m = 1.31 \quad (-)$$

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme
 e $m = (m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta)$ in tutti gli altri)

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

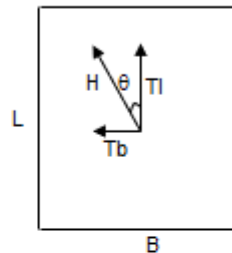
$$i_q = 0.94$$

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

$$i_c = 0.94$$

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

$$i_\gamma = 0.89$$


 d_c, d_q, d_γ : **fattori di profondità del piano di appoggio**

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_c = 1 + 2 D \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_c = 1 + (2 \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2) \cdot \arctan(D / B^*)$$

$$d_c = 1.20$$

$$d_c = d_c - (1 - d_c) / (Nc \tan\phi')$$

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	223 DI 225

$$d_c = 1.20$$

$$d_y = 1$$

$$d_z = 1.00$$

b_o, b_q, b_y : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_o = (1 - \beta_1 \tan \varphi')^2 \quad \beta_1 + \beta_p = 0.00 \quad \beta_1 + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_o = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_y = b_o$$

$$b_y = 1.00$$

g_o, g_q, g_y : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_o = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_1 + \beta_p = 0.00 \quad \beta_1 + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_o = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_y = g_o$$

$$g_y = 1.00$$

Carico limite unitario

$q_{lim} = 5380.69$	(kN/m ²)	R3	2.30	
		qrd	2339	(kN/m ²)

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	224 DI 225

Pressione massima agente

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

$$q = 157.51 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Coefficiente di sicurezza

$$F_s = q_{\text{lim}} / q = 34.16 \quad \text{OK}$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

$$H_d = 17.00 \quad (\text{kN})$$

$$S_d = N * \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 258.65 \quad (\text{kN})$$

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$F_{\text{scorr}} = 15.21 \quad \text{OK}$$

La verifica è soddisfatta



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

FA04 - Fabbricato tecnologico San Pietro
Relazione di Calcolo Fabbricato e vasca
serbatoio GE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 CL	FA0400 001	A	225 DI 225

23 CONCLUSIONI

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

Fondazione Fabbricato.....	150 kg/m ³
Pilastrini Fabbricato.....	200 kg/m ³
Travi Fabbricato.....	145 kg/m ³
Vasca Serbatoio.....	190 kg/m ³