



ALLEGATO C

PROGETTO E VERIFICA DI FONDAZIONI IN C.A.

**COMPLESSO SCOLASTICO DI PIEVE SAN GIACOMO
EDIFICIO ADIBITO A REFETTORIO – SALA POLIFUNZIONALE**

Pieve San Giacomo
Cremona CR

Indice

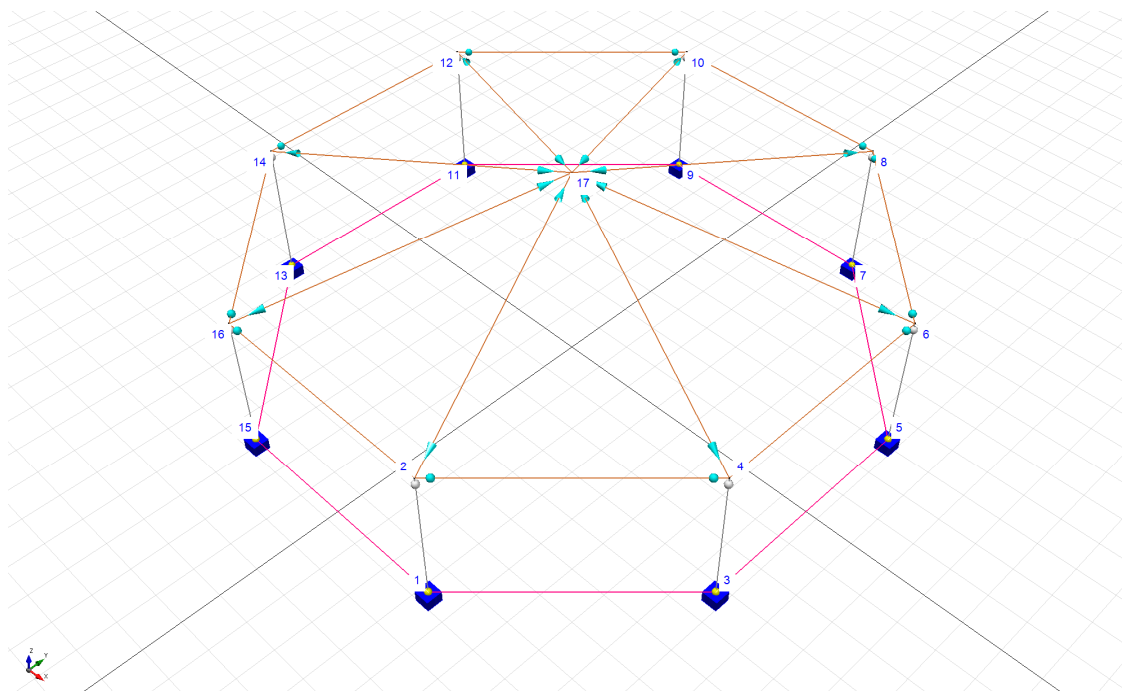
1. Premessa
2. Descrizione opera
3. Dati generali relativi alla struttura
4. Riferimenti normativi
5. Materiali
6. Risultati
7. Verifiche
8. Modello geotecnico
9. Verifiche di resistenza del terreno
10. Conclusione

1. Premessa

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica, in accordo con le prescrizioni contenute nel paragrafo 10.1 delle "Norme Tecniche" per le Costruzioni. Relativamente al progetto in oggetto il documento descrive in particolare le modalità operative di applicazione della normativa vigente. Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte a "regola d'arte" dal progettista, secondo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni. Per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello ed al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato il metodo agli stati limite, rispettando le prescrizioni previste dalle normative di riferimento elencate nel documento. Si riporta di seguito in proposito l'insieme delle verifiche strutturali, atte a garantire la resistenza ed il comportamento della struttura sia in condizioni di esercizio che sotto l'azione di eventi di carico straordinari. Secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni la relazione di calcolo riporta infine una sezione relativa alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, al fine di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli svolti e di consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del documento.

2. Descrizione dell'opera

2.1 Modellazione



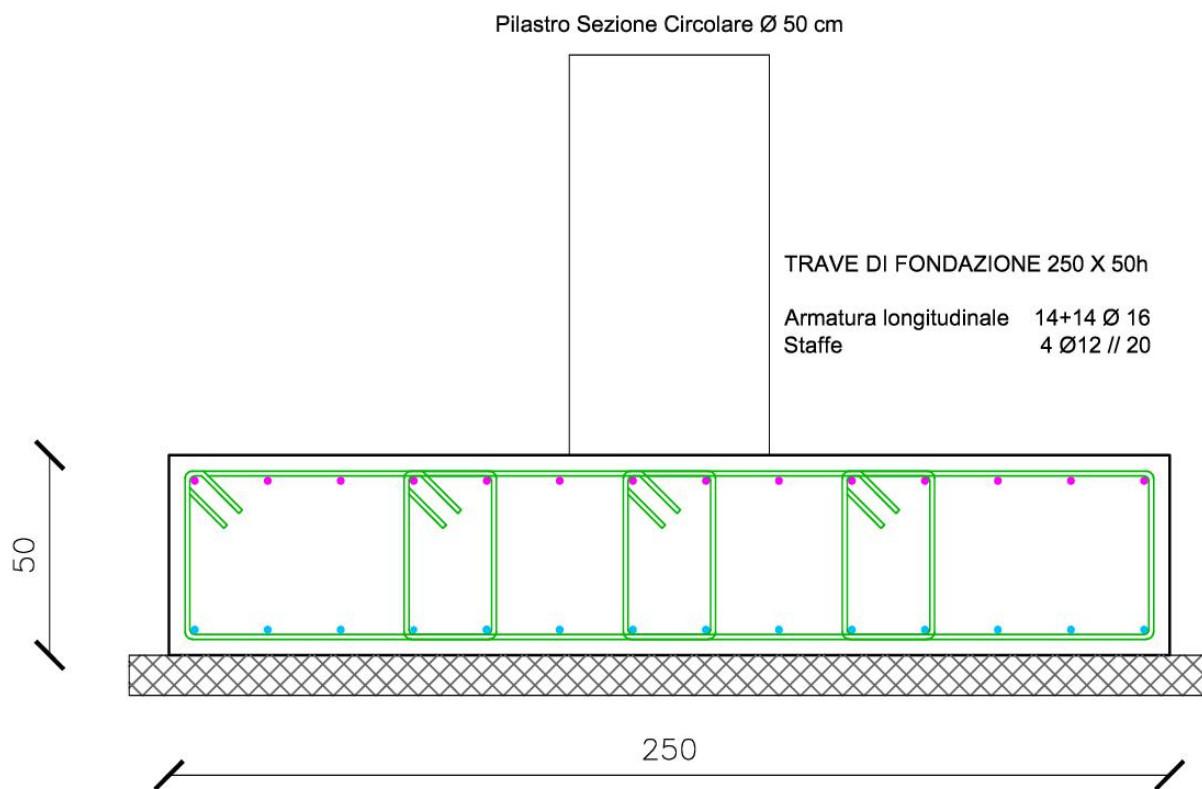
Rappresentazione wire frame del modello 3D

Oggetto di questo allegato è la struttura di fondazione del fabbricato in progetto adibito a aula polifunzionale e refettorio del complesso scolastico di Pieve San Giacomo. La struttura è rappresentata da travi in c.a. di sezione 250 x 50 h come rappresentato in figura..

La struttura verticale è stata modellata come un pendolo inverso incastrato alla base e calcolata considerando un comportamento strutturale Non Dissipativo ai sensi del §7.2.2 delle Norme Tecniche 2018; la struttura in esame è caratterizzata da un fattore di struttura $q_0 = 1$.

Ai fini della correttezza del modello e della analisi sismica svolta, la fondazione è stata modellata attribuendole il peso proprio e i pesi derivanti dall'analisi dei carichi come carico lineare sulla trave di fondazione.

Esclusivamente per il calcolo geotecnico, avendo la trave di fondazione una geometria con il rapporto tra il lato maggiore e il lato minore inferiore a 10, si è considerato il reticolo di travi nel suo insieme e quindi una platea di fondazione a forma ottagonale.



Sezione di progetto

3 Dati generali

In questo paragrafo si riportano le caratteristiche generali relative all'opera, alla località di ubicazione ed i dati anagrafici dei soggetti coinvolti nell'intervento.

3.1 Caratteristiche

Nome Progetto:	Progetto esecutivo strutture		
Tipologia opera:	Edificio scolastico	Tipologia di intervento:	Nuova costruzione
Normativa di riferimento:	Norme Tecniche 2018		
Tipo di analisi:	Analisi agli Stati Limite	Classe d'uso dell'edificio:	IV

3.2 Località

Descrizione area:	Area pianeggiante con ostacoli diffusi		
Comune:	Pieve San Giacomo	Provincia:	CR
Longitudine:	10,187886 °	Latitudine:	45,129763 °
Altitudine:	39	Indirizzo:	Via dei Patrioti, 25

3.3 Dati per analisi sismica

Vita nominale della struttura: 50 anni

Zona Sismica: -3

4. Riferimenti normativi

I calcoli della presente relazione fanno riferimento alla normativa vigente ed in particolare:

Normativa nazionale

- *Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018*
"Norme Tecniche per le Costruzioni 2018"
- *Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.*
"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018"
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20 Marzo 2003, n. 3274.*
"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- *CNR-DT 207 R1/2018*
"Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"
- *UNI EN 206 2014*
"Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- *UNI 11104:2016*
"Cemento, malte, calcestruzzi e cemento armato"

5. Materiali

I materiali ed i prodotti ad uso strutturale, utilizzati nelle opere oggetto della presente relazione, rispondono ai requisiti indicati dal capitolo 11 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni". Questi sono stati identificati univocamente dal produttore, qualificati sotto la sua responsabilità ed accettati dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

Sulla base delle verifiche effettuate in sito ed in conformità alle disposizioni normative vigenti si prevede per la realizzazione del progetto in analisi l'adozione dei materiali di seguito descritti.

Calcestruzzo C25/30

Densità ρ : 2.500,00 kg/m ³	Resistenza caratteristica cubica a compressione R_{ck} : 300,00 daN/cm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck} : 249,00 daN/cm ²	Resistenza cilindrica media f_{cm} : 329,03 daN/cm ²
Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} : 25,58 daN/cm ²	Resistenza media a flessione f_{cfm} : 30,70 daN/cm ²
Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 5% $f_{ctk,5}$: 17,91 daN/cm ²	Resistenza caratt. trazione semplice, frattile 95% $f_{ctk,95}$: 33,26 daN/cm ²
Modulo Elastico E_{cm} : 314.471,60 daN/cm ²	Coefficiente di Poisson ν : 0,20
Coefficiente di dilatazione termica lineare α_t : 1E-05	Coefficiente correttivo per la resistenza a compressione α_{cc} : 0,85
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo γ_c : 1,5	Resistenza a compressione di progetto f_{cd} : 141,10 daN/cm ²
Resistenza a trazione di progetto, frattile 5% $f_{ctd,5}$: 11,94 daN/cm ²	Resistenza a trazione di progetto, frattile 95% $f_{ctd,95}$: 22,17 daN/cm ²

Acciaio per cemento armato

Nome: B450 C	Tipologia del materiale: Acciaio ad aderenza migliorata
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} : 450,0 N/mm ²	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio γ_s : 1,15
Modulo elastico E_s : 206.000,0 N/mm ²	Densità ρ : 2.500 kg/m ³
Allungamento sotto carico massimo A_{gt} : 67,5 %	Tensione ammissibile σ_s : 260,0 N/mm ²
Coefficiente di omogeneizzazione n : 15	

6. Risultati

6.1 Sollecitazioni Stato Limite Ultimo

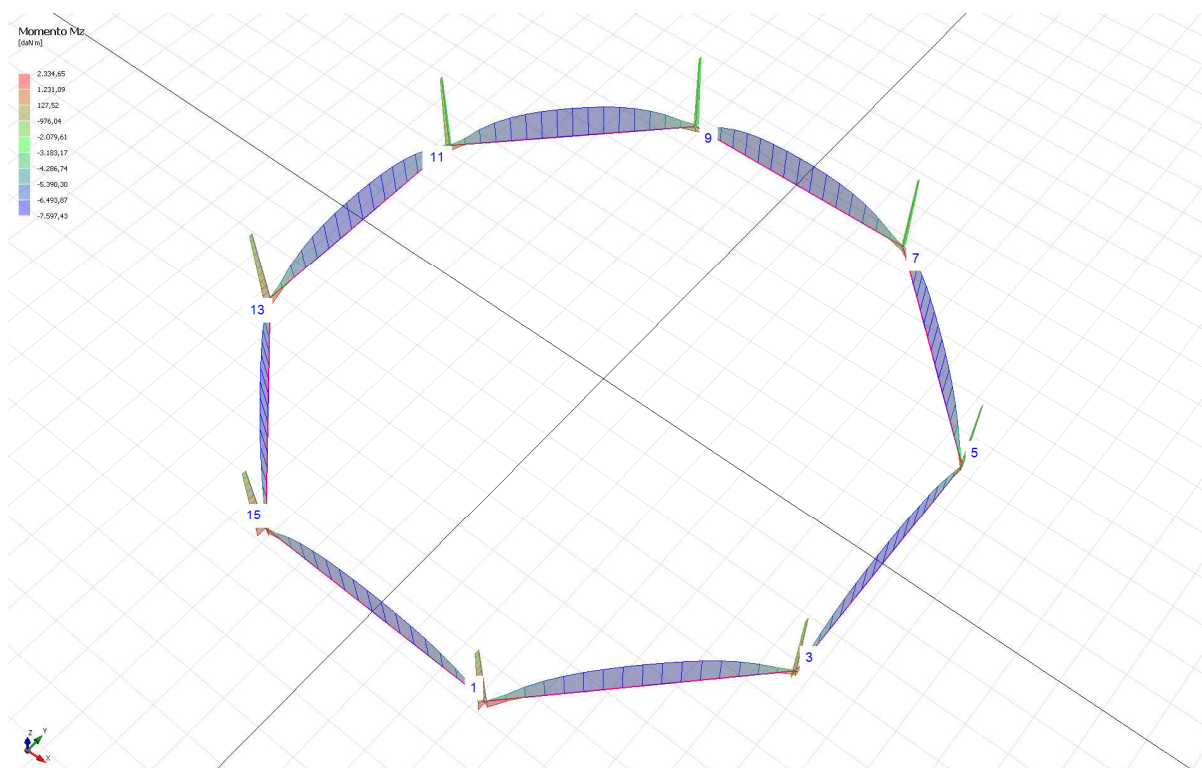


Diagramma dei momenti M_x

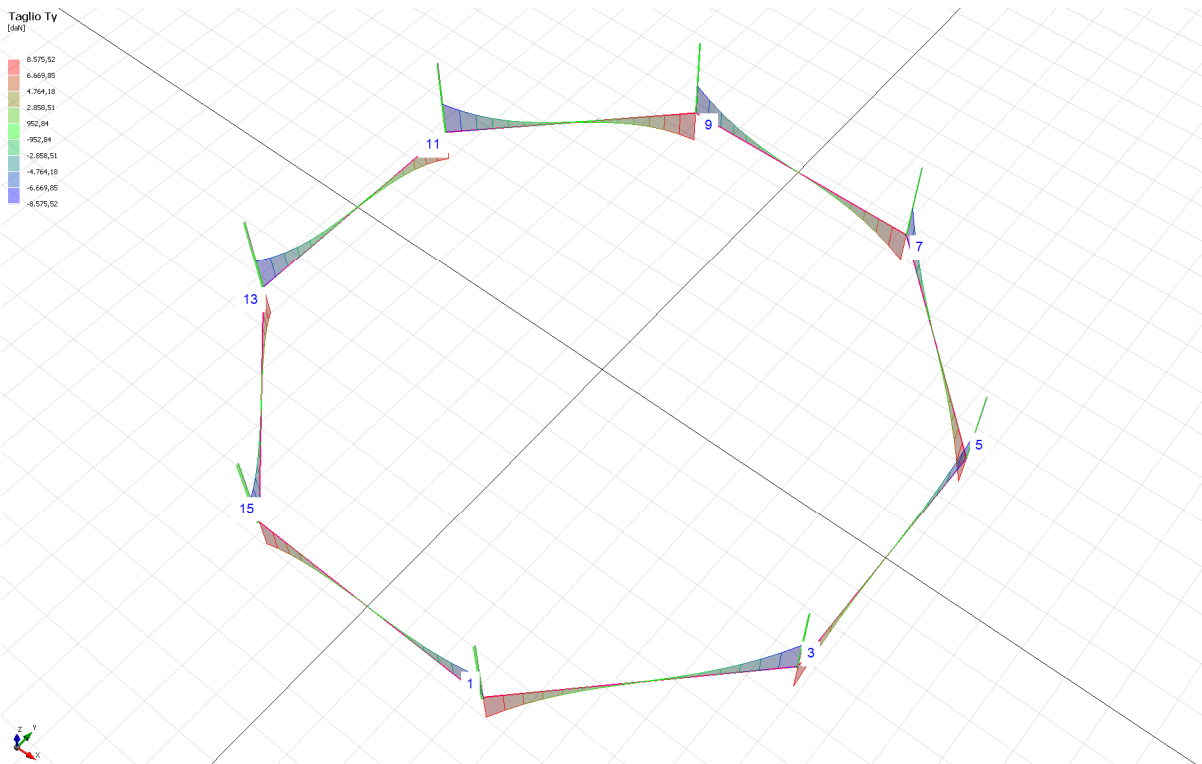
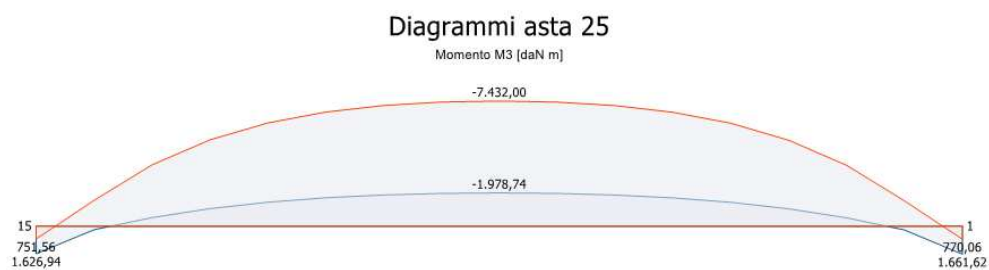


Diagramma dei tagli V_y

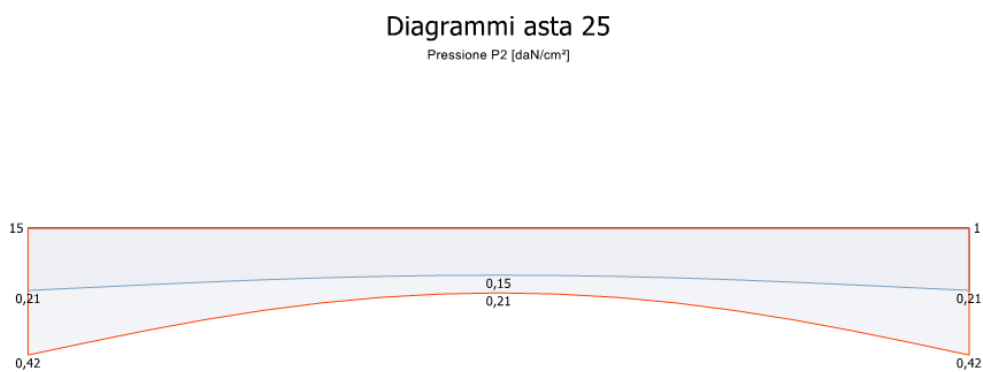
Azione Flettente M



Azione Tagliante V



Pressione Py



Riepilogo - SLU

Azione Flettente Mz	Azione Tagliante V	Pressione Py
7'500 daN m	8'500 daN	0,42 kg/cmq

6.2 Sollecitazioni Stato Limite Salvaguardia della Vita

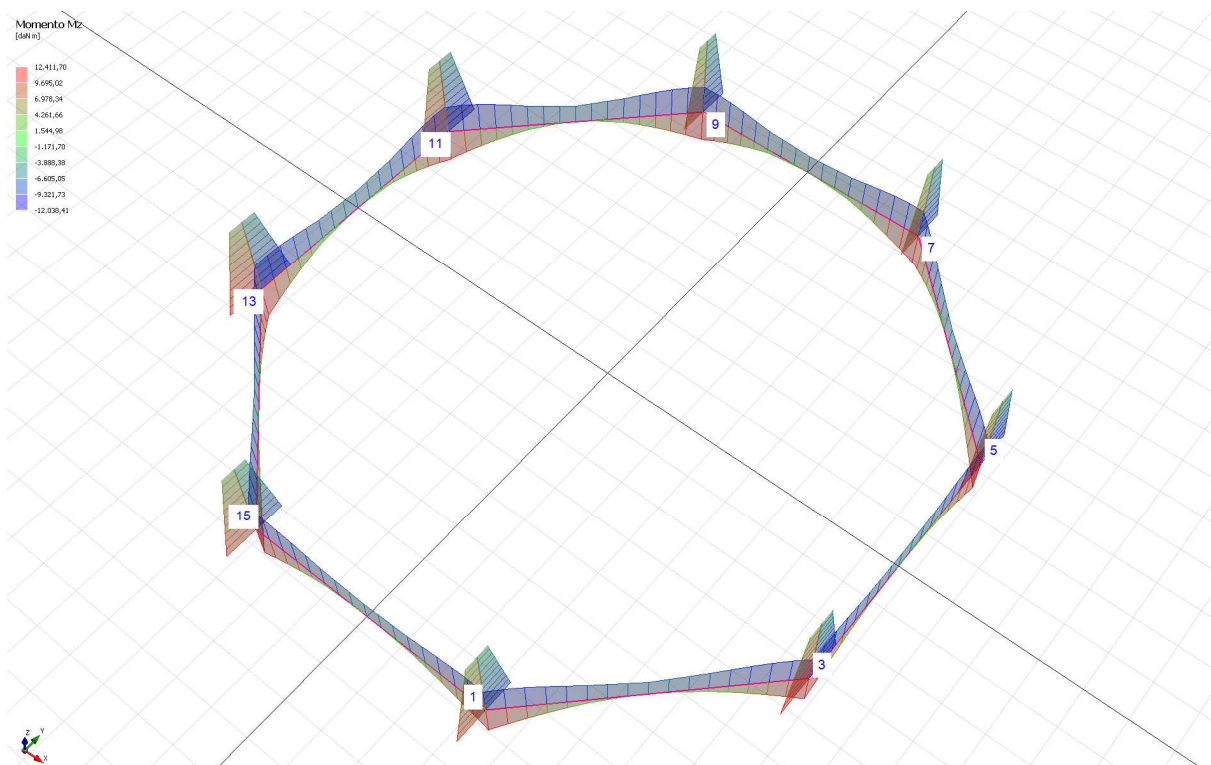


Diagramma dei momenti M_x

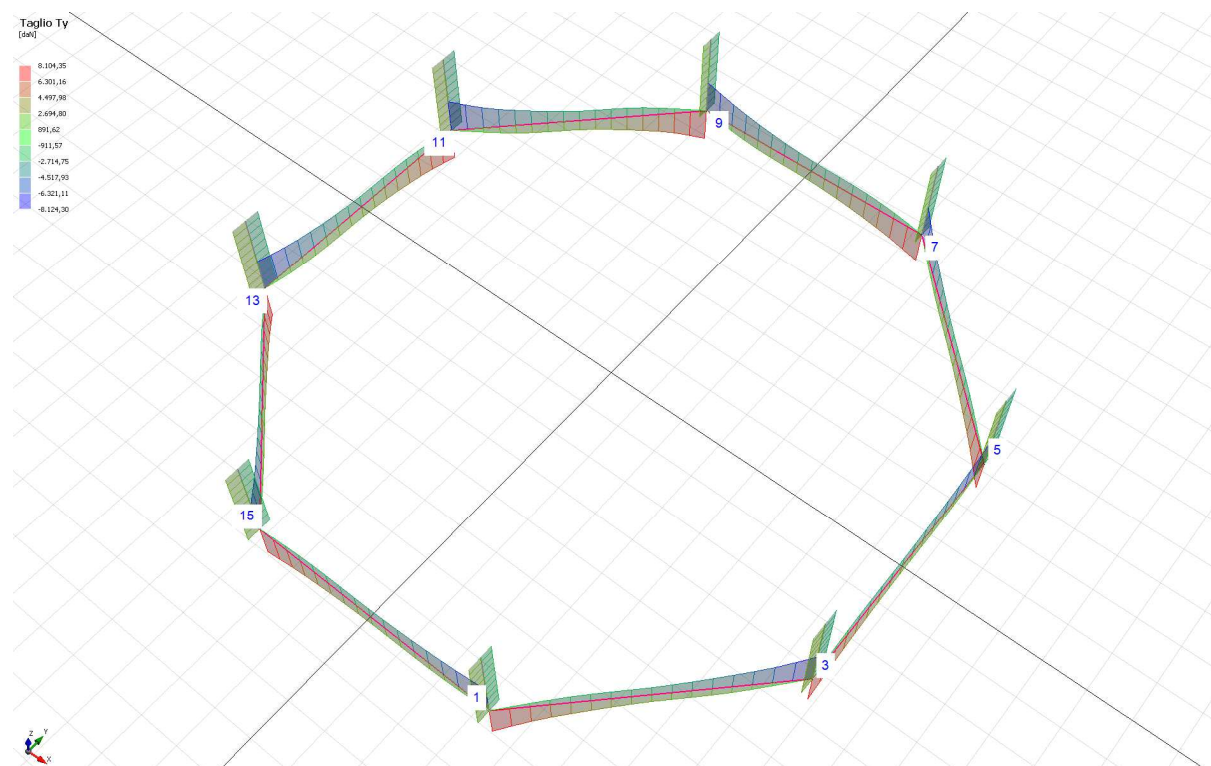
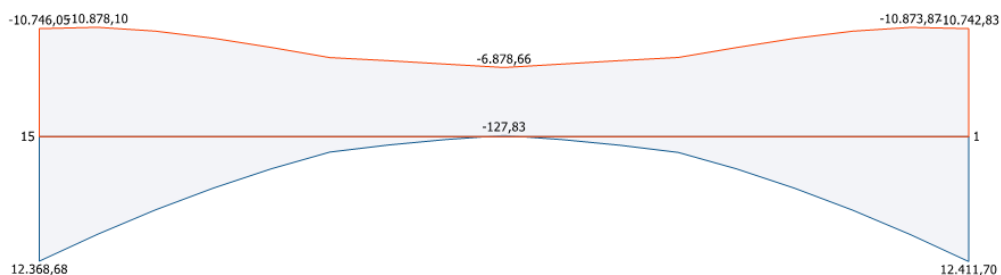


Diagramma dei tagli V_y

Azione Flettente M

Diagrammi asta 25

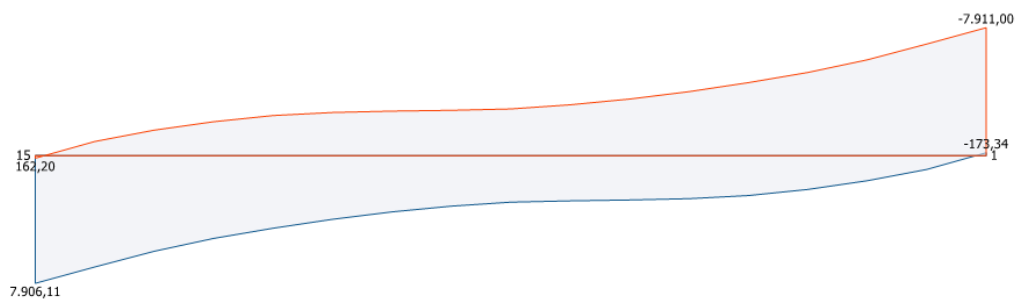
Momento M3 [daN m]



Azione Tagliante V

Diagrammi asta 25

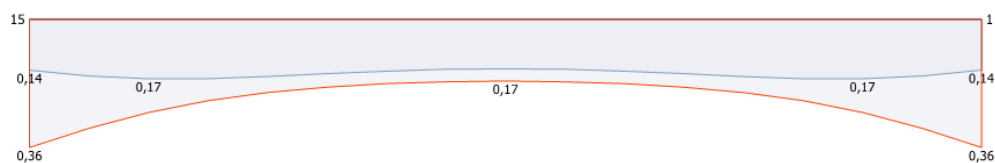
Taglio T2 [daN]



Pressione Py

Diagrammi asta 25

Pressione P2 [daN/cm²]



Riepilogo - SLV

Azione Flettente Mz	Azione Tagliante V	Pressione Py
12'500 daN m	8'500 daN	0,36 kg/cmq

7. Verifiche

Si riportano di seguito le verifiche dell'elemento in c.a. nella combinazione sismica che è la combinazione più gravosa per la struttura in esame.

In accordo con il §7.4.1 delle Norme Tecniche 2018 “Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, la capacità delle membrature deve essere valutata in accordo con le regole di cui al § 4.1, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che in nessuna sezione si superi il momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico, come definito al § 4.1.2.3.4.2.”

Si sono quindi condotte le verifiche in accordo al capitolo 4 delle NTC, utilizzando però le sollecitazioni derivanti dalla combinazione sismica.

7.1 Verifica di resistenza a presso-flessione

Nel precedente capitolo sono riportate le principali sollecitazioni a flessione.

Azione Flettente M	20'000 daNm
---------------------------	-------------

In accordo con le Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 si devono rispettare le seguenti condizioni:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^\alpha \leq 1$$

Dove $\alpha = 1$ per sezioni in assenza di sforzo assiale.

Dal diagramma sforzo-deformazione della sezione in esame si evince il momento resistente ultimo $M_{Rd} = 48'100$ daN m ed il momento resistente ultimo in campo elastico, pari al raggiungimento dello snervamento $\epsilon_s = 1,957$ ‰ nelle barre di armatura:

$$M_{Rd}(EL) = 45'470 \text{ daN m}$$

Risulta quindi che:

$$M_{Rd} = \left(\frac{20'000}{45'470} \right)^1 = 0,44 \leq 1$$

7.2 Verifica di resistenza a taglio

Nel precedente capitolo sono riportate le principali sollecitazioni a taglio.

Azione Tagliante V	10'000 daN
---------------------------	------------

In accordo con il paragrafo § 4.1.2.3.5.2. delle Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 la resistenza a taglio dell'elemento deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio, ovvero la resistenza a taglio sarà la minore tra la resistenza di progetto a "taglio-trazione" e la resistenza di progetto a "taglio-compressione". Queste ultime sono così definite:

- Calcolo resistenza di progetto a taglio trazione

$$V_{Rd}(TT) = 0,9d \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} (ctg\alpha + ctg\theta) \sin\alpha$$

- Calcolo resistenza di progetto a taglio compressione

$$V_{Rd}(TC) = 0,9db_w\alpha_c v f_{cd} (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

La verifica risulta soddisfatta qualora la minore tra le due resistenze di progetto siano maggiori della sollecitazione agente. Nel caso in esame risultano:

$$V_{Rd}(TT) = 175'173 \text{ daN} ; V_{Rd}(TC) = 242'810 \text{ daN}$$

$$V_{Rd}(TT) \geq V_{Ed}$$

7.3 Verifica a punzonamento

Con riferimento al § 4.1.2.3.5.4 "solette piene, solette nervate a sezione piena sopra le colonne, e fondazioni devono essere verificate nei riguardi del punzonamento allo stato limite ultimo, in corrispondenza dei pilastri e di carichi concentrati."

La verifica è condotta allo Stato Limite Ultimo in condizioni di assenza di armatura a taglio per il punzonamento.

La verifica è stata condotta sui due perimetri critici, ovvero u0 il perimetro critico in corrispondenza dell'impronta del pilastro e u1 il perimetro critico a distanza 2d dal perimetro critico u0 (dove d = altezza utile della piastra).

Al perimetro u0 la verifica risulta soddisfatta se:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{d \times u_0} < v_{Rd}(\max) = 0,4 \times 0,5 \times f_{cd}$$

$$v_{Ed} = 0,11 \text{ MPa} < v_{Rd}(\max) = 2,83 \text{ MPa}$$

Al perimetro u1 pari a 2d dal perimetro critico u0 la verifica risulta soddisfatta se:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{d \times u_1} > v_{Rd}(\min) = 0,0035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$$

$$v_{Ed} = 0,09 \text{ MPa} < v_{Rd}(\min) = 0,37 \text{ MPa}$$

8. Modello geotecnico

Si riportano di seguito i criteri di modellazione adottati per la valutazione dell'interazione tra la struttura e il terreno e l'estratto della relazione geologica a cui si fa riferimento nella modellazione stratigrafica del terreno.

8.1 Criteri di modellazione

Le travi di fondazione sono state modellate con elementi shell bidimensionali così da valutare gli effetti della struttura sul terreno sulla effettiva impronta delle travi.

Gli elementi shell sono caratterizzati da una mesh pari a 50 cm e sono vincolati a terra mediante vincoli che consentono i cinatismi governati dalla costante di Winkler (la traslazione lungo l'asse z verticale e le rotazioni attorno agli assi x e y).

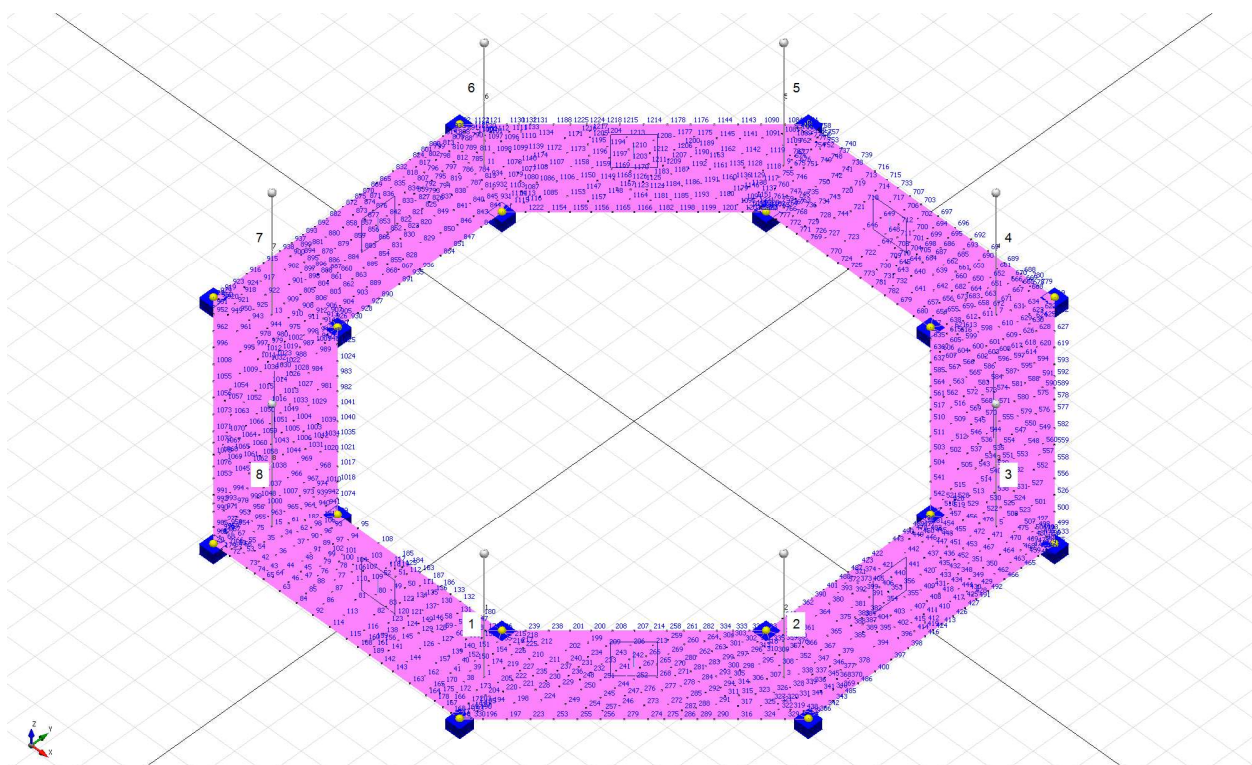


Diagramma dei momenti Mx

8.2 Inquadramento stratigrafico

Ai fini del dimensionamento delle opere di fondazione e di interazione struttura-terreno, si sono acquisiti i dati derivanti da un'analisi conoscitiva del terreno in sito volta alla definizione della successione stratigrafica, del regime delle pressioni interstiziali e delle caratteristiche meccaniche del suolo.

Il resoconto dettagliato di tutte le operazioni condotte (tipi e caratteristiche delle attrezzature e particolari esecutivi delle prove) e dei dati raccolti (profili stratigrafici, risultati delle prove e misure eseguite) è riportato nella Relazione Geologica e Geotecnica allegata; nei paragrafi che seguono si mostrano le verifiche di capacità portante e dei cedimenti del terreno di fondazione.

Da m – A m	Descrizione Litologica	Angolo attrito interno Φ	γ [t/mc]	E young [kg/cm ²]
-1,20 – -7,60	Limo Sabbioso	28,8°	1,90	85
-7,60 – -20,00	Sabbia mediamente addensata	31,4°	2,20	115

9. Verifiche di resistenza del terreno

Il progetto e la verifica delle fondazioni sono state condotte ai sensi del D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni 2018".
Nei seguenti paragrafi verranno mostrati nel dettaglio i metodi di calcolo e i risultati relativi al dimensionamento delle strutture di fondazione.

9.1 Verifica di capacità portante – Combinazione SLU

La verifica di capacità portante del terreno viene condotta con riferimento alle formulazioni della letteratura classica in materia geotecnica, ovvero secondo i criteri per la determinazione del carico limite di Terzaghi, Brinch-Hansen, Vesic e Meyerhof.

Nel paragrafo dedicato ai risultati del calcolo sono riassunte le pressioni limite per ciascun metodo di calcolo.

Fondazione	Pressione max [daN/cm ²]	Pressione limite TERZAGHI [daN/cm ²]	Pressione limite MEYERHOF [daN/cm ²]	Pressione limite HANSEN [daN/cm ²]	Pressione limite VESIC [daN/cm ²]
Reticolo	0,52	2,33	1,32	1,28	1,94

9.2 Stima dei cedimenti – Combinazione SLE

Al fine di stimare le deformazioni attese nel terreno di fondazione, si definisce in prima istanza lo stato di tensione indotto nel sottosuolo da un carico applicato a quota imposta fondazione utilizzando la teoria del semispazio elastico isotropo omogeneo di Boussinesq.

La stima dei cedimenti è condotta mediante metodo elastico e quindi utilizzando l'espressione del cedimento monodimensionale.

$$\delta = \sum_i \frac{\Delta \sigma_{vi} \Delta H_i}{E_i}$$

in cui:

ΔH_i = spessore dello strato i-esimo in cui è stato suddiviso, ai fini del calcolo, il terreno di fondazione;

$\Delta \sigma_{vi}$ = incremento di pressione verticale medio nello strato i-esimo causato dai carichi esterni attesi;

E_i = modulo elastico medio nello strato i-esimo. Per terreni coesivi si tratta del modulo edometrico.

La sommatoria dei cedimenti è stata estesa fino alla profondità per cui l'incremento di pressione verticale $\Delta \sigma_{vi}$ risulta inferiore ad 0,1% della pressione verticale efficace preesistente oppure fino alla profondità del substrato roccioso rigido.

Fondazione	Cedimento max [mm]	Cedimento min [mm]
Reticolo	-11,35	0,00

10. Conclusione

Nel rispetto di quanto richiesto nel capitolo 10 dalle Norme Tecniche per le Costruzioni ed al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità dei valori raggiunti, alla luce delle verifiche e dei calcoli effettuati, di cui è data spiegazione nel presente documento, il progettista strutturale ritiene che i risultati ottenuti relativamente al progetto in oggetto siano conformi a quanto previsto dai regolamenti e dalle leggi vigenti in materia. A supporto di tale affermazione il progettista dichiara di aver controllato accuratamente i tabulati ottenuti mediante codice di calcolo, di aver preliminarmente esaminato il software di calcolo, ritenendolo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto, di aver confrontato i risultati ottenuti da analisi computazionale con semplici calcoli di massima svolti dallo stesso progettista e di aver infine esaminato gli stati tensionali e deformativi, ritenendoli consistenti e coerenti con la modellazione della struttura analizzata.