GESTIONE ACQUA S.P.A

Sede in Cassano Spinola (AL)
15063 - Regione Scrivia
Tel. 0143 – 477577 – Fax 0143 – 478658
P.Iva/C.F. 01880180060

TITOLO DEL PROGETTO:

PNRR – AVVISO M2C.1.1 I 1.1. Linea d'Intervento C. Impianto di Depurazione di Frugarolo – Revamping volto alla realizzazione di un impianto fortemente automatizzato di recupero di rifiuti provenienti dallo spazzamento stradale e dalla pulizia delle caditoie.
GA PNRR D 2

Commessa: xxx

PROGETTO

- ☐ STANDARD GA
- ☐ FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
- ■ DEFINITIVO
- ☐ ESECUTIVO

Relazione tecnica strutturale, di calcolo e sulle fondazioni

Rev. n.	DATA	ELABORATO DA	VERIFICATO DA (RC – RESP. GEST.)	APPROVATO DA (RIEP)	Nome File
00	05/07/2023	SEAM	Geom. Mauro Siro Ing. Monica Minetti	Ing. Vittorio Risso	S472CI05001
01					
02					

	IL PROGETTISTA (Timbro e firma)	ELABORATO
	SEAM Engineering s.r.l WISE Engineering s.r.l	

INDICE

1.0 PREMESSA 3
2.0 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI 4
3.0 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 5
4.0 INQUADRAMENTO NORMATIVO E QUALIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE 6
5.0 RISPONDENZA MATERIALI STRUTTURALI AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018 7
6.0 CARATTERISTICHE DEI MATEIRALI 8
7.0 TENSIONI UNITARIE DI SICUREZZA 9
8.0 ANALISI DEI CARICHI 10
8.1 CARICHI 10
8.2 TETTOIA 10
8.3 VASCHE 13
8.4 AZIONE SISMICA SUI MURI DELLE VASCHE INTERRATE 13
8.5 VASCHE INTERRATE 16
8.6 COMBINAZIONE DELLE AZIONI 16
9.0 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018 20
10.0 CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE 21
10.1 CRITERI DI PROGETTAZIONE 21
10.2 PRINCIPI GENERALI DI MODELLAZIONE 21
10.2.1 SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA E DEI VINCOLI 21
10.2.2 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E DEI VINCOLI 21
10.2.3 SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI 21
10.2.4 MODELLAZIONE DELLE AZIONI 21
10.2.5 MODELLAZIONE DEI MATERIALI 21
10.2.6 INDIVIDUIAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO 22
10.2.7 GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE 22
10.2.8 MOTIVAZIONE DELLA SCELTA DEL CODICE 22
10.2.9 VERIFICHE DELLE SOLLECITAZIONI 22
10.2.10 ESAME DEI RISULTATI E CONTROLLI – VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZA DEL MODELLO 23
10.2.11 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI 23
10.3 CRITERI SPECIFICI DI MODELLAZIONE 23
11.0 METODO DI ANALISI E VERIFICA SISMICA 25
12.0 METODO DI ANALISI E VERIFICA SISMICA 26
12.1 VERIFICA TETTOIA 26
13.0 CONCLUSIONI 27

1.0 PREMESSA

Gestione Acqua S.p.A. ha affidato a SEAM engineering Srl (mandataria) e a Wise Engineering Srl (mandante) l'incarico per la redazione del Progetto Definitivo, sviluppato sulla base del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica riguardante l'adeguamento dell'impianto di depurazione di Frugarolo-Bosco Marengo, sito in Località Della Torre, SP 182.

La presente relazione illustra l'analisi delle sollecitazioni e le verifiche strutturali dei principali manufatti previsti nel progetto di ampliamento del depuratore di Frugarolo (AL).

2.0 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI

L'area d'intervento è ubicata a ovest del centro abitato del comune di Frugarolo, in provincia di Alessandria, in prossimità del Torrente Orba alla Strada Provinciale n. 95. Il terreno si sviluppa sostanzialmente in piano ad una quota di 107,00 m s.l.m. e si trova in una zona prevalentemente composta da terreni agricoli.

Figura 1 Immagine aerea dell'area

3.0 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione dei seguenti manufatti:

1) Pesa: realizzazione di una piattaforma per la pesa dei mezzi appoggiata su di una platea in cemento armato di dimensioni 11,60x3,60 m e spessore 40 cm. Il perimetro è delimitato da un muro alto 50 cm di contenimento del terreno. A fianco di questo manufatto è previsto un locale tecnico prefabbricato fondato su di una platea di 3,20x2,70 m e spessore 40 cm. Il locale tecnico ha dimensioni 2,50x3,00 m e altezza 3,00 m.
2) Tettoia: tettoia metallica a copertura della zona tramogge e vagliatura con sagoma in pianta ad "L" con i lati maggiori di dimensioni 21,60 m e 18,20 m e altezza netta minima di 7,15 m. La copertura sarà in lamiera grecata disposta su due falde. Le fondazioni saranno costituite da plinti 140x140 cm, di altezza 40 cm, collegati tra di loro mediante travi o platee.
3) Vasca tramogge e vagliatura: realizzazione di una vasca interrata a cielo aperto avente sagoma in pianta ad "L" con i lati maggiori di dimensioni 16,10 m e 10,10 m. La profondità della vasca è di 3,00 m, la platea ha uno spessore di 40 cm, mentre i muri sono da 30 cm.
4) Baie di stoccaggio: realizzazione a fianco delle tramogge di 3 baie di stoccaggio con fondazione spessa 30 cm posizionata a quota terreno e muri di delimitazione di spessore 25 cm e altezza 2,50 m. La sagoma in pianta è di tipo rettangolare di dimensioni 20,50x 6,25 m.
5) Pozzetto liquami dissabbiati: pozzetto interrato in cemento armato gettato in opera collocato nelle vicinanze della vasca tramogge e vagliatura per il rilancio dei liquami dissabbiati. Le dimensioni in pianta sono di 3,50x2,50 m e l'altezza dal piano fondazione più basso è di 2,70 m. La platea del pozzetto ha uno spessore di 40 cm, mentre i muri sono spessi 25 cm.
6) Vasca trattamento chimico-fisico: vasca con sagoma in pianta composta da un rettangolo unito sul lato più corto ad un quadrato. Il rettangolo ha dimensioni di 5,45x3,50 m, mentre il quadrato è 2,00x2,00 m. La fondazione, spessa 30 cm si trova a quota terreno, l'altezza del manufatto è di 2,80 m e le pareti sono spesse 25 cm.
7) Pozzetto rilancio acque chiarificate: Vasca interrata in cemento armato, parzialmente a cielo aperto, di dimensioni 6,75x5,00 m e altezza di 2,50 m. La platea ha uno spessore di 40 cm e muri sono da 25 cm. La soletta che copre parzialmente la vasca è spessa 25 cm.
8) Platea serbatoio fanghi e locali tecnici: platea di fondazione in cemento armato a sostegno del silos per il contenimento dei fanghi situata in prossimità del pozzetto di rilancio delle acque chiarificate. La platea ha dimensioni 3,50x3,50 m e spessore 40 cm. In adiacenza a questa saranno realizzati 2 locali tecnici prefabbricati di dimensioni 7,00x3,00 e altezza 3,00 m.
9) Piazzola per movimentazione cassoni: basamento in cemento armato di dimensioni 7,70x4,50 m e spessore 20 cm.
10) Rinforzo solaio esistente per inserimento macchina disidratazione meccanica: sul solaio del piano primo dell'edificio esistente è prevista la posa di un macchinario per la disidratazione meccanica del peso a pieno carico di 33 kN. L'intervento prevede la disposizione di un reticolo di putrelle IPE 140 al di sopra del solaio sulle quali posare il macchinario in modo tale da ridistribuirne il carico.

4.0 INQUADRAMENTO NORMATIVO E QUALIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE

Sono state osservate le seguenti norme in vigore per la valutazione delle condizioni di carico, il calcolo delle sollecitazioni, il dimensionamento delle sezioni in c.a. e degli elementi metallici, il posizionamento e l'ancoraggio dei ferri di armatura e per le altre considerazioni progettuali in genere:

a) NTC 2018 - D.Min. Infrastrutture e trasporti 17 gennaio 2018. "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

b) 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 decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (GU n. 35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).

c) Legge 5 novembre 1971, n 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e a struttura metallica.

d) Eurocodici:
- Eurocodice 2 – "Progettazione delle strutture in calcestruzzo"
- Eurocodice 3 – "Progettazione delle strutture in acciaio"
- Eurocodice 7 – "Progettazione geotecnica"
- Eurocodice 8 – "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica".

e) UNI EN 201-1:2006 Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

f) Delibera Giunta Regione Piemonte 19 gennaio 2010, n. 11-13058 e s.m.i. Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006). D.G.R. n. 6–887 del 30/12/2019 "Presa d'atto ed approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"

Il presente intervento consiste nella realizzazione di varie opere strutturalmente separate tra di loro.
Pertanto gli interventi previsti si configurano come "NUOVO INTERVENTO" (capitolo 7 delle NTC 2018).

5.0 RISPONDENZA MATERIALI STRUTTURALI AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

I materiali in progetto sono adeguati a quanto stabilito nelle NTC 2018.
Il calcestruzzo, previsto in classe C28/35 e C32/40, è conforme al par. 7.4.2.1 per le strutture semplicemente armate, in quanto possiede una classe di resistenza superiore al minimo richiesto (C20/25).
L'acciaio ad aderenza migliorata per l'armatura del cemento armato, come indicato al par. 7.4.2.2 delle NTC 2018, è del tipo B450C.
L'acciaio laminato per profilati, barre e piatti previsto in progetto è il tipo S235JR e S275JR, conforme a quanto stabilito al par. 4.2.1.1 delle NTC 2018.

6.0 CARATTERISTICHE DEI MATEIRALI

I materiali costituenti le strutture sono considerati elastici e con comportamento lineare.
Le loro caratteristiche risultano le seguenti:

a) Calcestruzzo per sottofondazioni e fondazioni non armate:
classe C12/15 - confezionato con cemento tipo 32,5R, dosato a 2,00 kN/m3, Rck ≥ 15 N/mm2;

b) Calcestruzzo per fondazioni, pareti, solette e riempimenti vasche:
classe C30/37 confezionato con cemento tipo 42,5R, dosato a 3,60 kN/m3, con Rck ≥ 37 N/mm2 – classe di esposizione XF4 – consistenza S4 – massimo rapporto A/C=0,45;

c) Acciaio in barre ad aderenza migliorata tipo B450C;

d) Acciaio laminato a caldo in profilati, barre, piatti, lamiere tipo S275JR e profilati cavi tipo S235JR, secondo UNI EN 10025 (93);

e) Saldature: 2a classe con elettrodi di qualità 2, 3 o 4 secondo UNI 5132;

f) Viti classe 8,8 secondo UNI 3740;

g) Dadi classe 6S con rondella tipo Grower secondo UNI 3740.

7.0 TENSIONI UNITARIE DI SICUREZZA

In base alle vigenti norme le tensioni nei materiali sono valutate come segue:

a) Calcestruzzo classe 30/37:
$R_{ck} \geq 37$ N/mm^2
$f_{ck} = 30,71$ N/mm^2
stati limite:
$f_{cd} = 17,40$ N/mm^2
$f_{ctm} = 2,94$ N/mm^2
$f_{ctk} = 2,06$ N/mm^2
$f_{ctd} = 1,37$ N/mm^2

b) Acciaio:

- acciaio B450C	$f_{yk} = 450$	N/mm^2
	$f_{yd} = 391,3$	N/mm^2
- acciaio laminato tipo S275JR	$f_{yk} = 275$	N/mm^2
	$f_{tk} = 430$	N/mm^2
	$f_{yd} = 261,9$	N/mm^2
- acciaio laminato tipo S235JR	$f_{yk} = 235$	N/mm^2
	$f_{tk} = 360$	N/mm^2
	$f_{yd} = 223,8$	N/mm^2

8.0 ANALISI DEI CARICHI

8.1 CARICHI

In accordo con le sopra citate normative e in particolare con il capitolo 3 delle NTC 2018, sono state considerate nei calcoli le seguenti azioni:

- pesi propri strutturali (valutati automaticamente dal programma di calcolo);
- carichi permanenti portati dalla struttura;
- carichi stradali;
- carichi variabili neve, vento;
- spinta del terreno e dell'acqua.

Per la determinazione delle azioni agenti sulla struttura, è stato fatto riferimento alla seguente analisi dei carichi:

8.2 TETTOIA

a) Carico su copertura

- Peso proprio orditura metallica (*determinato in automatico dal programma*)		
- Carico permanente (lamiera grecata + eventuali pannelli fotovoltaici)	0,50	kN/m^2
- Neve	1,20	kN/m^2
Totale	**1,70**	**kN/m^2**

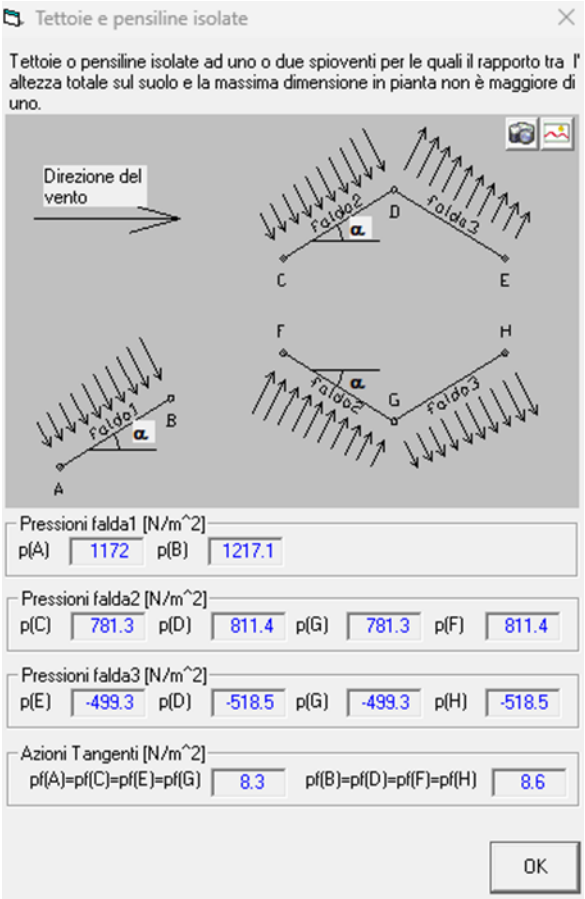
b) Vento

Tramite la procedura "Vento" del programma Dolmen sono state calcolate le azioni del vento agenti per una tettoia a 2 falde. Di seguito si allega il report per Vento in direzione Y ortogonale al colmo.

```
VENTO                    lavoro : 2013T2
Unità di misura :  m ; KN/mq ; m/s

Convenzione di segno:
(+) compressione
(-) decompressione

Zona 1
Altitudine: 106
Periodo di Ritorno [anni]: 50
Classe di rugosità del terreno : D
Distanza dalla costa [km]: 100
Categoria di esposizione del sito: 2
Tipologia di costruzione : Tettoie e pensiline isolate

vref (velocità di riferimento) =    25.
qref (pressione cinetica di riferimento) =    .3906
cd (coefficiente dinamico) =  1.
cf (coefficiente d'attrito) =   .01



   |P.to   |  z    | ct(z)| ce(z)|    falda1      |    falda2      |    falda3      |
```

					cp	p(z)	cp	p(z)	cp	p(z)
1	A-C-E-G	7.	1.	2.1303	1.4084	1.172	.9389	.7813	-.6	-.4993
2		7.11	1.	2.1399	1.4084	1.1773	.9389	.7848	-.6	-.5015
3		7.22	1.	2.1494	1.4084	1.1825	.9389	.7883	-.6	-.5038
4		7.33	1.	2.1587	1.4084	1.1876	.9389	.7918	-.6	-.506
5		7.44	1.	2.168	1.4084	1.1927	.9389	.7951	-.6	-.5081
6		7.56	1.	2.1771	1.4084	1.1977	.9389	.7985	-.6	-.5103
7		7.67	1.	2.1861	1.4084	1.2027	.9389	.8018	-.6	-.5124
8		7.78	1.	2.1949	1.4084	1.2075	.9389	.805	-.6	-.5144
9		7.89	1.	2.2037	1.4084	1.2124	.9389	.8082	-.6	-.5165
10	B-D-F-H	8.	1.	2.2123	1.4084	1.2171	.9389	.8114	-.6	-.5185

Si adottano i seguenti valori di pressione:
pY1 = 0,80 kN/m^2 (falda sopravento)
pY2 = -0,51 kN/m^2 (falda sottovento)



Per determinare il vento in direzione della X (parallele al colmo) si considera la tettoia come a singola falda orizzontale ($\alpha = 0$).
Secondo la tabella G.XII delle CNR-DT 207 R1/2018 del 06/02/2019 per tettoie a semplice falda i valori del Coefficiente di forza sono dati dalle seguenti formule:

Tabella G.XII – Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in °).

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

Valori rappresentati mediante il seguente grafico:

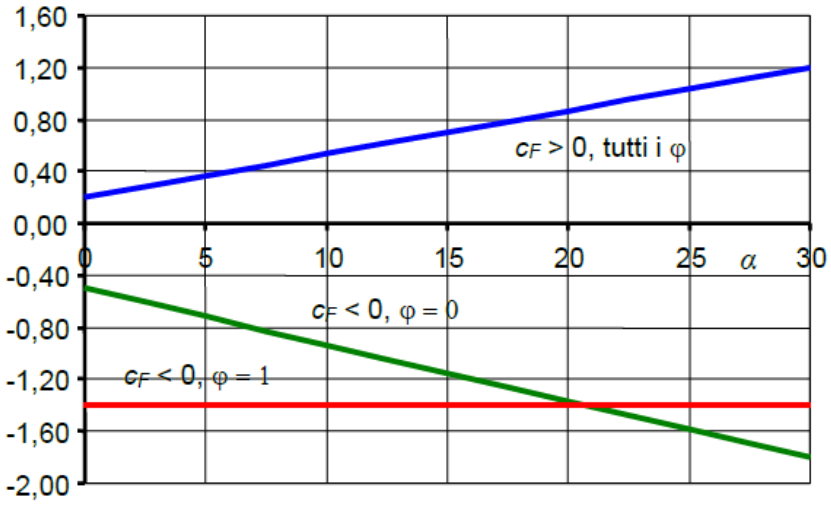


Figura G.26 – Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda.

Il Coefficiente di Forza in compressione, con inclinazione della falda pari a 0°, risulta essere pari a 0,20, mentre il Coefficiente di Forza in depressione è pari a -1,40 considerando un grado di bloccaggio φ = 1.

La pressione sulla falda risulta essere:
pX = qref * ce * cp
dove:
qref = 0,3906 kN/m^2
ce (coefficiente di esposizione) = 2,20
cp (coefficiente di pressione) = +0,20 compressione e -1,40 decompressione

pX1 = 0,3906 * 2,20 * 0,20 = 0,17 kN/m^2 (falda sopravento)
pX2 = 0,3906 * 2,20 * 1,40 = -1,20 kN/m^2 (falda sottovento)
per tener conto dell'eccentricità del carico, pari a 1/4 della lunghezza della falda, i carichi vengono incrementati di un 33%.
pX1 = 0,17 * 1,33 = 0,23 kN/m^2 (falda sopravento)
pX2 = 1,20 * 1,33 = -1,60 kN/m^2 (falda sottovento)

c) <u>Neve</u>

Tramite la procedura "Neve" del programma Dolmen sono stati calcolati i carichi della neve agenti su una tettoia a 2 falde. Di seguito si allega il report.

```
CARICO NEVE          lavoro : 2013T2
Unità di misura :  m ; KN/mq ; KN/m
```

```
Zona 1
Altitudine [m]: 106
Periodo di Ritorno [anni]:   50

qsk (carico neve al suolo) =   1.5

COPERTURA A DUE FALDE

alfa1 (inclinazione della falda1 [°]) = 10
alfa2 (inclinazione della falda2 [°]) = 10

                 mu   |   qs   |   qe   |
   mu1(alfa1)|   .8   |  1.2   |   .576|
0.5mu1(alfa1)|   .4   |   .6   |   .072|
   mu1(alfa2)|   .8   |  1.2   |   .576|
0.5mu1(alfa2)|   .4   |   .6   |   .072|
```

Sono stati considerati i seguenti carichi della neve:

qs1 = 1,20 kN/m^2

qs2 = 0,60 kN/m^2 (falda sopravento)

8.3 VASCHE

a) Spinta idrostatica dell'acqua interna

È stata considerata la spinta dell'acqua interna alle vasche come:

$$p_w = \gamma_w \cdot z_w$$

con $\gamma_w = 10\ kN/m^3$

b) Spinta dinamica dell'acqua interna in caso di sisma

Le oscillazioni sismiche possono comportare l'instaurarsi di un moto relativo tra le pareti di una vasca e l'acqua contenuta al suo interno. Tale fenomeno, noto anche come sploshing, può comportare la creazione di un moto ondoso recante il duplice effetto di:

- Incremento della spinta idrostatica sulle pareti interessate dall'incremento del livello dell'acqua
- Riduzione della spinta idrostatica dovuta sulle pareti interessate al fenomeno di suzione.

Il valore delle spinte dovute al fenomeno di sploshing è stato determinato secondo quanto contenuto nell'Eurocodice 8 Parte 4 attraverso la procedura del programma Dolmen specifica per la verifica di serbatoi contenenti liquidi.

8.4 AZIONE SISMICA SUI MURI DELLE VASCHE INTERRATE

L'azione sismica è stata considerata con caratteristiche relative ad "opere permanenti" e vita nominale prevista pari a 50 anni, allo scopo di valutare il comportamento delle opere soggette a sisma nella configurazione finale.
Per le caratteristiche geotecniche del suolo è stato fatto riferimento alla relazione geologica-tecnica del 2001 predisposta in occasione del progetto dell'impianto di depurazione.
La classe d'uso considerata è la classe II e il coefficiente d'uso è pertanto *C_U=1.0.*

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 2 Valori del coefficiente d'uso [NTC 2018]

La **categoria di sottosuolo è la C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*".

Valori di Ss e Cc [NTC 2018]

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_S e di C_C*

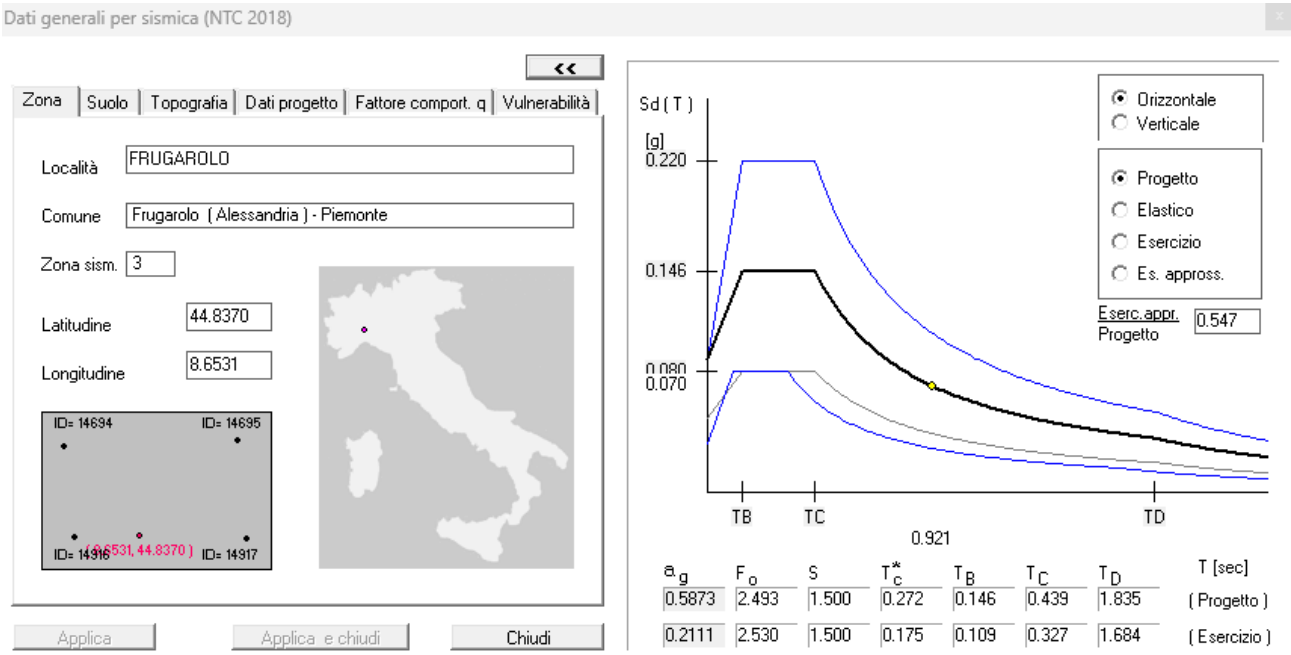
Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_C^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_C^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_C^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_C^*)^{-0{,}40}$

Valori di St [NTC 2018]

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Per le verifiche sismiche si sono considerati gli Stati Limite di Danno (SLD) e di Salvaguardia della vita (SLV).
Le accelerazioni sismiche sono state valutate, secondo il metodo pseudo-statico (alla luce delle NTC del 2018) come:
$a_{max}=S_S*S_T*a_g=1{,}5*1{,}0*0{,}5873 = 0{,}088\ g$ SLV
$a_{max}=S_S*S_T*a_g=1{,}5*1{,}0*0{,}2111 = 0{,}032\ g$ SLD
L'accelerazione caratteristica e tutti i parametri ad essa annessi per il sito di realizzazione sono stati valutati mediante il software Dolmen 2023.



Ai fini del dimensionamento delle opere sono stati assunti, come accelerazioni orizzontali massime attese al sito, i valori

a_{max} = 0,088 g SLV

a_{max} = 0,032 g SLD

che si ritengono sufficientemente cautelativi e rappresentativi della casistica presente.

Per la determinazione dell'azione sismica sulle pareti laterali si seguono i criteri stabiliti dalle Norme Tecniche per le opere di sostegno. Pertanto, in accordo con il § 7.11.6.2.1 delle NTC, l'analisi della sicurezza è stata eseguita mediante analisi pseudo-statica considerando l'equilibrio limite dell'opera di sostegno e del cuneo di terreno a tergo dell'opera.

Per la valutazione delle sollecitazioni sismiche si considerano:

- Le spinte dei terreni comprensive degli effetti sismici;
- Le forze d'inerzia agenti sulla massa del manufatto (forze determinate tramite analisi dinamica).

Il modello base è costituito dall'opera e dal terreno sostenuto in condizione di stato limite di equilibrio attivo.

Le forze sismiche derivanti dal peso del manufatto sono state determinate mediante l'analisi dinamica lineare.

I coefficienti sismici orizzontali e verticali, in accordo con il § 7.11.6.2.1 delle NTC, sono valutati con le seguenti formule:

$k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g$

$k_v = \pm 0{,}5\ k_h$

βm = 1,00 è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che assume valore unitario nel caso di opere di sostegno che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

I coefficienti sismici orizzontali e verticali assumono di conseguenza i valori:

$k_h=0{,}088$

$k_v=0{,}044$

Le forze d'inerzia orizzontali e verticali agenti per effetto del sisma sono quindi valutate come:

$F_o = k_h \cdot W$

$F_v = k_v \cdot W$

dove W è il peso della struttura e dei relativi sovraccarichi permanenti. Il punto di applicazione di dette forze d'inerzia è il baricentro delle masse attivate dall'azione sismica.

In accordo con il § 2.5.2 delle NTC 2018 il coefficiente moltiplicativo delle masse corrispondenti ai carichi da traffico vale $\psi 02 = 0,3$.
Le forze orizzontali applicate alle pareti sono le seguenti:

- forze orizzontali dovute al traffico stradale q_D;
- forze orizzontali dovute ai pesi permanenti f_{hs} e ΔPd .

8.5 VASCHE INTERRATE

a) Carico su copertura vasche

- Peso proprio soletta sp.20 cm		5,00	kN/m^2
- Carico stradale		20,00	kN/m^2
	Totale	**25,00**	**kN/m^2**

b) Spinta sui muri controterra

- Peso specifico terreno	18,00	kN/m^2
- Angolo di attrito del terreno		28°

8.6 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite vengono assunte le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
  $\gamma_{G1}\times G1 + \gamma_{G2}\times G2 + \gamma_P\times P + \gamma_{Q1}\times Q_{k1} + \gamma_{Q2}\times\psi_{02}\times Q_{k2} + \gamma_{Q3}\times \psi_{03}\times Q_{k3} + \ldots$
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
  $G1 + G2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}\times Q_{k2} + \psi_{03}\times Q_{k3} + \ldots$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
  $G1 + G2 + P + \psi_{11}\times Q_{k1} + \psi_{22}\times Q_{k2} + \psi_{23}\times Q_{k3} + \ldots$
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
  $G1 + G2 + P + \psi_{21}\times Q_{k1} + \psi_{22}\times Q_{k2} + \psi_{23}\times Q_{k3} + \ldots$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
  $E + G1 + G2 + P + \psi_{21}\times Q_{k1} + \psi_{22}\times Q_{k2} + \ldots$
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad:
  $G1 + G2 + P + A_d + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + ...$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2.

Dove:

Categoria/Azione variabile NTC_2018	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6

Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I Coperture praticabili	Da valutarsi caso per caso		
Categoria K Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, …)	Da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Si riportano, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, i dati dei carichi nelle condizioni e i casi di carico relativi alla Tettoia.

CARICHI NELLE CONDIZIONI – TETTOIA

```
°  001) Peso_proprio________    [ Peso proprio ]

     51 pesi propri aste

°  002) Permanente__________    [ Permanente ]

     2 carichi di solaio
           2 ] tipo n.  001)   globale   -0.50 kN/m2   Perm_Cop

°  003) Neve_(<1000m_slm)___    [ Neve (<1000m slm) ]

     2 carichi di solaio
           2 ] tipo n.  002)   globale   -1.20 kN/m2   Neve

°  004) Peso_proprio_fondaz    [ Peso proprio fondaz ]

     23 pesi propri aste

°  005) Vento_X    [ Vento X ]

     10 carichi sulle aste
           10  tipo n.  001)   Carico distrib.   X   globale    0.30 kN/m   Vento_X_Pilastri
     2 carichi di solaio
           2 ] tipo n.  003)   locale   -0.23 kN/m2   VentoX_falda

°  006) Vento_Y    [ Vento Y ]

     10 carichi sulle aste
           10  tipo n.  002)   Carico distrib.   Y   globale    0.30 kN/m   Vento_Y_Pilastri
     1 carichi di solaio
           1 ] tipo n.  004)   locale   -0.80 kN/m2   VentoY_falda

°  007) Neve_con_vento    [ Neve (<1000m slm) ]

     2 carichi di solaio
           1 ] tipo n.  002)   globale   -1.20 kN/m2   Neve
           1 ] tipo n.  005)   globale   -0.60 kN/m2   Neve_con_vento

°  008) Autovett_001_(X)    [ Modo proprio X ]

     69 carichi ai nodi

°  009) Autovett_002_(X)    [ Modo proprio X ]

     71 carichi ai nodi

°  010) Autovett_004_(X)    [ Modo proprio X ]

     40 carichi ai nodi

°  011) Autovett_004_(Y)    [ Modo proprio Y ]
```

```
     70 carichi ai nodi
°  012) Autovett_005_(X)    [ Modo proprio X ]
     27 carichi ai nodi
°  013) Autovett_005_(Y)    [ Modo proprio Y ]
     71 carichi ai nodi
°  014) Autovett_006_(Y)    [ Modo proprio Y ]
     71 carichi ai nodi
°  015) Autovett_007_(Y)    [ Modo proprio Y ]
     71 carichi ai nodi
°  016) Sisma_X    [ Sisma X SLU (st lin) ]
     29 forze sismiche dir. X
°  017) Sisma_Y    [ Sisma Y SLU (st lin) ]
     29 forze sismiche dir. Y
°  018) Torcente_add._X    [ Torcente addiz X SLU ]
     29 forze sismiche dir. X
°  019) Torcente_add._Y    [ Torcente addiz Y SLU ]
     29 forze sismiche dir. Y
```

CASI DI CARICO – TETTOIA

NOM	DESCRIZIONE	VERIF.	TIPO	CONDIZIONI INSERITE				CASI INS.	
				Nro	Descrizione	Coef.	Somma	Nom	Coef.
1	SLU	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.300	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				3	Neve_(<1000m_slm)___	1.500	+		
				4	Peso_proprio_fondaz	1.300	+		
2	SLU VENTOX	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.300	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				4	Peso_proprio_fondaz	1.300	+		
				5	Vento_X	1.500	+/-		
				3	Neve_(<1000m_slm)___	1.500	+		
3	SLU VENTOY	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.300	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				4	Peso_proprio_fondaz	1.300	+		
				6	Vento_Y	1.500	+/-		
				7	Neve_con_vento	1.500	+		
4	SISMAX SLU	NONUT	somma	8	Autovett_001_(X)	1.000	quad		
				9	Autovett_002_(X)	1.000	quad		
				10	Autovett_004_(X)	1.000	quad		
				12	Autovett_005_(X)	1.000	quad		
				18	Torcente_add._X	1.000	+/-		
5	SISMAY SLU	NONUT	somma	11	Autovett_004_(Y)	1.000	quad		
				13	Autovett_005_(Y)	1.000	quad		
				14	Autovett_006_(Y)	1.000	quad		
				15	Autovett_007_(Y)	1.000	quad		
				19	Torcente_add._Y	1.000	+/-		
6	SLU con SISMAX PRINC	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	4	1.000
				2	Permanente_____	1.000	+	5	.300
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+		
7	SLU con SISMAY PRINC	SLU	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	5	1.000
				2	Permanente_____	1.000	+	4	.300
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+		
8	SLD con SISMAX PRINC	SLU_GER	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	4	.751
				2	Permanente_____	1.000	+	5	.225
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+		
9	SLD con SISMAY PRINC	SLD	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+	5	.751
				2	Permanente_____	1.000	+	4	.225
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+		
10	SLUEqu	SLU_EQU	somma	1	Peso_proprio_____	.900	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				3	Neve_(<1000m_slm)___	1.500	+		
				4	Peso_proprio_fondaz	.900	+		
11	SLUEqu VENTOX	SLU_EQU	somma	1	Peso_proprio_____	.900	+		
				2	Permanente_____	1.500	+		
				4	Peso_proprio_fondaz	.900	+		
				5	Vento_X	1.500	+/-		
				7	Neve_con_vento	1.500	+		

12	SLUEqu VENTOY	SLU_EQU	somma	1	Peso_proprio_____	.900	+			
				2	Permanente_____	1.500	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	.900	+			
				6	Vento_Y	1.500	+/-			
				7	Neve_con_vento	1.500	+			
13	Rara	RARA	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				3	Neve_(<1000m_slm)___	1.000	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			
14	Rara VentoX	QPERM	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			
				5	Vento_X	1.000	+/-			
				3	Neve_(<1000m_slm)___	1.000	+			
15	Rara VentoY	RARA	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			
				6	Vento_Y	1.000	+/-			
				7	Neve_con_vento	1.000	+			
16	Frequente	FREQ	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				3	Neve_(<1000m_slm)___	.200	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			
17	Frequente VentoX	FREQ	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			
				5	Vento_X	.200	+/-			
				3	Neve_(<1000m_slm)___	.200	+			
18	Frequente VentoY	FREQ	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			
				6	Vento_Y	.200	+/-			
				7	Neve_con_vento	.200	+			
19	Quasi Perm	QPERM	somma	1	Peso_proprio_____	1.000	+			
				2	Permanente_____	1.000	+			
				4	Peso_proprio_fondaz	1.000	+			

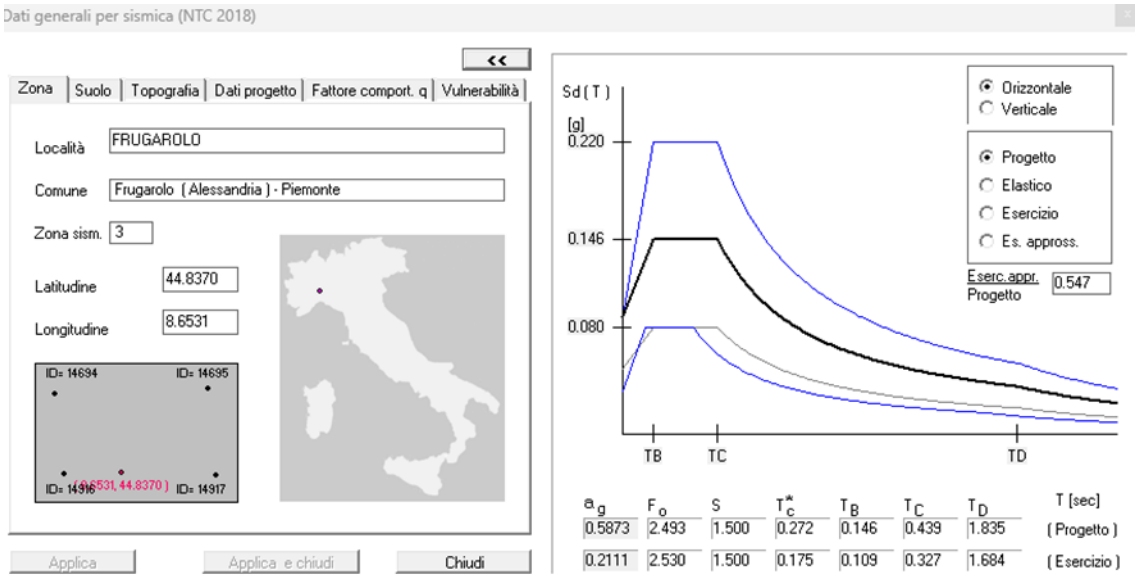
9.0 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

Secondo quanto previsto dal par. 2.4 delle NTC 2018 e ai fini della definizione dei livelli di sicurezza e delle prestazioni attese, alla costruzione sono stati attribuiti i seguenti parametri:

- Vita nominale Vn = 50 anni
- Classe d'uso: Classe II Cu = 1,0
- Periodo di riferimento VR (Vn*Cu) = 50 anni

In riferimento alle prescrizioni di cui al par. 3.2 delle NTC 2018 si definiscono i seguenti parametri:

- Pvr di progetto (SLV) 10%
- Pvr di esercizio (SLD) 63%
- Categoria del sottosuolo (da relazione geologica) Categoria C
- Categoria topografica T1
- Amplificazione topografica 1,00
- Coordinate del sito (ED50) long. 8.653140 lat. 44.837015



La normativa sismica e in particolare la D.G.R. del Piemonte n. 6–887 del 30/12/2019 "*OPCM 3519/2006 - Presa d'atto ed approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte*" di aggiornamento della classificazione regionale ha assegnato al Comune di Frugarolo **la Zona sismica 3**.

10.0 CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

10.1 CRITERI DI PROGETTAZIONE

In conformità al capitolo 7.2 delle NTC 2018 gli interventi previsti in progetto sono stati progettati per garantire rigidezza e resistenza nei confronti delle due componenti orizzontali delle azioni sismiche.
Le componenti verticali delle azioni sismiche non sono state considerate in quanto l'opera non ricade tra i casi previsti nei paragrafi 3.2.3.1 e 7.2.2 delle NTC 2018.
Sulla base della tipologia strutturale che caratterizza i vari manufatti, sono stati utilizzati i seguenti parametri:

MODELLO

- Tipologia strutturale telaio/pareti in cemento armato o acciaio
- Fattore di struttura q q = 1,5

10.2 PRINCIPI GENERALI DI MODELLAZIONE

10.2.1 Schematizzazione della struttura e dei vincoli

La struttura viene schematizzata escludendo il contributo degli elementi aventi rigidezza e resistenza trascurabili a fronte di quelli principali.
Nei casi più complessi si considera l'orditura a telaio tridimensionale, i solai ed i setti verticali ad elevata rigidezza.
Le fondazioni vengono assimilate come vincolo di incastro, se isolate, o come trave continua su suolo elastico.
Nei casi più semplificati, la struttura si considera come un telaio piano o trave continua.

10.2.2 Modellazione della struttura e dei vincoli

La struttura viene modellata con il metodo degli elementi finiti, applicato a sistemi tridimensionali. Gli elementi utilizzati sono sia monodimensionali (trave e pilastri con eventuali sconnessioni interne), che bidimensionali (piastre e membrane triangolari e quadrangolari).
I vincoli vengono considerati puntuali ed inseriti tramite le sei costanti di rigidezza elastica.
Le sezioni oggetto di verifica relative a platee, muri e solette sono stampate a passo costante.

10.2.3 Schematizzazione delle azioni

Le condizioni ed i casi di carico prese in conto nei calcoli sono specificate nella stampa dei dati di input.

10.2.4 Modellazione delle azioni

I valori di carico adottati sono quelli riportati nei paragrafi precedenti.
Le azioni sono modellate tramite opportuni carichi concentrati e distribuiti su nodi, aste e gusci.

10.2.5 Modellazione dei materiali

I materiali costituenti la struttura sono considerati elastici e con comportamento lineare. Le loro caratteristiche sono specificate nella stampa dei dati di input e sono riferiti ai materiali indicati nei paragrafi precedenti.

10.2.6 Individuiazione del codice di calcolo

Per il calcolo delle sollecitazioni e per la verifica degli elementi portanti viene eseguita un'analisi statica o dinamica completa, in campo elastico lineare, della struttura intera, costituita da aste prismatiche di sezione definita.
Per effettuare tale analisi è stato utilizzato il programma "DOLMEN WIN - versione 2023", prodotto dalla Società CDM DOLMEN di Torino basato sulla risoluzione di telai spaziali mediante il metodo degli elementi finiti.
Nei casi più semplificati la procedura consente l'analisi e la verifica di travi continue.
Nel caso di strutture complesse DOLMEN WIN, permette l'analisi elastica lineare di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono le aste (travi e pilastri), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse, e i gusci, sia rettangolari che triangolari, aventi comportamento di membrana e di piastra.
I carichi possono essere applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. Infine i carichi possono anche essere applicati sui gusci o sui solai.
I vincoli sono determinati tramite le sei costanti di rigidezza elastica.
Nel caso di strutture più semplici DOLMEN WIN prevede l'utilizzo della procedura di calcolo della trave continua che consente di rappresentare con sufficiente approssimazione il comportamento reale delle varie componenti della struttura a fronte di una semplificazione nell'introduzione dei dati rispetto al calcolo tridimensionale.
L'analisi a trave continua consente inoltre di selezionare un diverso grado di vincolo sugli appoggi in funzione dello schema statico reale.

A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente, fra l'altro, una vasta serie di test di validazione, sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

10.2.7 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita, oltreché dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, come indicato nel paragrafo precedente, anche dalla presenza di un modulo CAD per l'introduzione dei dati che permette la visualizzazione dettagliata degli elementi introdotti.
È possibile inoltre ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura.
Al termine dell'elaborazione viene valutata la qualità della soluzione, in base all'uguaglianza del lavoro esterno e dell'energia di deformazione.

10.2.8 Motivazione della scelta del codice

DOLMEN WIN permette in campo elastico lineare un'analisi dettagliata del comportamento dell'intera struttura.

10.2.9 Verifiche delle sollecitazioni

Per la verifica delle sollecitazioni si procede seguendo le seguenti fasi di lavoro:

a) costruzione, nei casi più complessi, del modello strutturale tridimensionale o bidimensionale mediante utilizzo di un CAD, rappresentando in modo schematico l'asse della trave o i gusci delle piastre e delle membrane;
b) assegnazione delle caratteristiche strutturali ad ogni elemento geometrico della struttura, mediante la definizione delle dimensioni delle singole aste e la definizione dei vincoli;
c) assegnazione dei carichi permanenti, accidentali e del peso proprio a tutte le aste e assegnazione delle azioni sismiche e momenti torcenti derivanti dall'analisi sismica;
d) analisi della struttura a telaio tridimensionale o bidimensionale;
e) verifica degli elementi strutturali.

10.2.10 Esame dei risultati e controlli – Valutazione della correttezza del modello

Il modello di calcolo adottato si ritiene appropriato in quanto:

- non sono riscontrate labilità;
- le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati;
- la simmetria di carichi e struttura dà origine a sollecitazioni simmetriche.

10.2.11 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo nonché il confronto con calcoli di massima eseguiti manualmente porta a confermare la validità dei risultati.

10.3 CRITERI SPECIFICI DI MODELLAZIONE

Per la valutazione della sicurezza è stato realizzato un modello agli elementi finiti della tettoia tramite il programma di calcolo "Dolmen 2023".
I pilastri e le travi sono stati rappresentati mediante aste monodimensionali, mentre le platee di fondazione, i muri e le solette attraverso elementi bidimensionali di tipo "guscio". Sui gusci sono stati applicati i carichi come da analisi dei carichi. Sulla copertura della tettoia sono state inserite entità di tipo "solaio" con la sola funzione di ripartire i carichi sulle aste sottostanti.

Tettoia

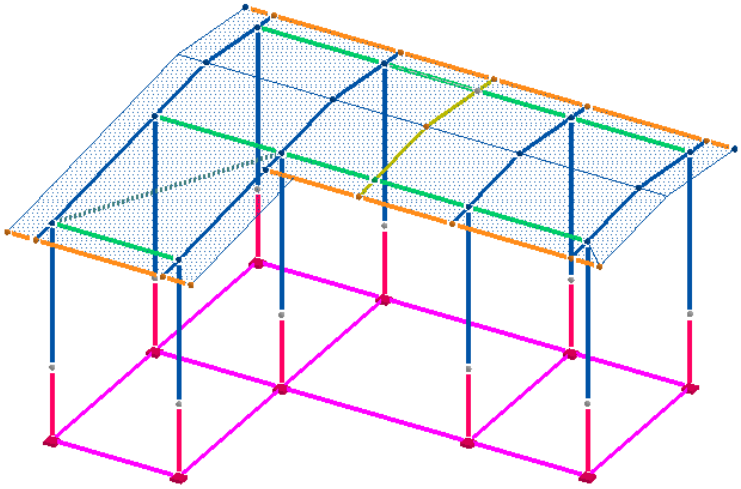


Figura 3 Tettoia metallica - Modello ad elementi finiti

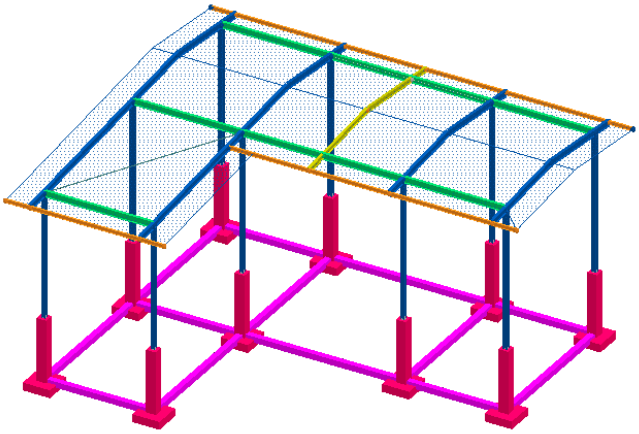


Figura 4 Tettoia metallica - Modello ad elementi finiti con carpenterie

11.0 METODO DI ANALISI E VERIFICA SISMICA

L'analisi strutturale utilizzata per la valutazione della risposta sismica è quella di tipo lineare dinamica come indicato nel par. 7.3.3.1 delle NTC 2018.
Sia per analisi lineare dinamica, sia per analisi lineare statica, si deve tenere conto dell'eccentricità accidentale del centro di massa, mediante l'applicazione di carichi statici costituiti da momenti torcenti di valore pari alla risultante orizzontale della forza agente al piano, determinata come in § 7.3.3.2, moltiplicata per l'eccentricità accidentale del baricentro delle masse rispetto alla sua posizione di calcolo, determinata come in § 7.2.6. Sono state pertanto create due condizioni di carico "Torcente X" e "Torcente Y" per l'eccentricità accidentale.
L'analisi lineare dinamica consiste:
- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- nella combinazione di questi effetti.

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 un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore allo 85%.
Per le azioni sismiche derivanti dal volume d'acqua contenuto nelle vasche si è proceduto mediante l'applicazione di forze statiche equivalenti, come descritto nel capitolo delle Analisi dei Carichi della presente relazione.
Al fattore q è stato assegnato un valore pari a 1.50 considerando la struttura non dissipativa, come previsto da tabella 7.3.I delle NTC 2018.

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	---	---		

12.0 METODO DI ANALISI E VERIFICA SISMICA

Le verifiche degli elementi strutturali sono state eseguite per la portanza verticale agli Stati Limiti Ultimi (SLU) e agli Stati Limiti d'Esercizio (SLE), mentre per la valutazione sismica agli Stati Limiti di salvaguardia alla Vita (SLV) e agli Stati Limiti di Danno (SLD).

12.1 VERIFICA TETTOIA

La verifica della tettoia metallica è stata svolta applicando la spinta del vento in combinazione con il peso della neve al 50%, come illustrato nel capitolo delle "Analisi dei carichi".
Nella figura seguente è rappresenta la percentuale di utilizzo del materiale acciaio.

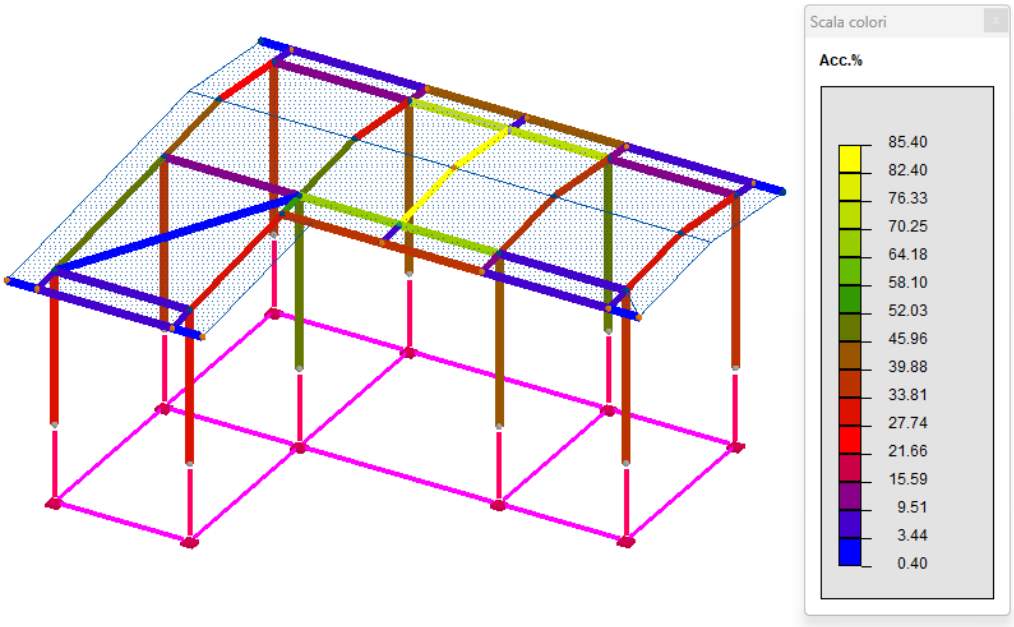


Figura 5 Tettoia – Percentuale utilizzo materiale

13.0 CONCLUSIONI

Le verifiche delle strutture sono state eseguite in conformità ai cap. 4, 5, 6 e 7 delle NTC 2018.

Dai calcoli effettuati, le strutture oggetto della presente relazione risultano tutte verificate.