Comune

GENOVA

Provincia

GENOVA

Titolo del progetto

REALIZZAZIONE DEL NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE AREA CENTRALE DI GENOVA - D.A.C.

Livello di progettazione	Settore di business	Disciplina
E - ESECUTIVO	I2 - DEPURAZIONE	STR - STRUTTURE

Numero	Titolo	Scala
RT 002	Relazione tecnica e illustrativa opere strutturali	-

ID Progetto	Titolo sintetico (nome file di stampa)	Codifica WBS
2016GESI0025-00	2016GESI0025-00-E-I2-STR-RT-002-00.pdf	C10I2-L058-01-0004

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Ottobre 2018	Emissione Pratica Sismica	AS	CP	CC

Redatto:

ing. Angelo Schiavone - LS

Verificato:

ing. Cosimo Parabita - IRETI

Approvato:

ing. Claudio Casale - IRETI

Funzione Ingegneria e Realizzazioni
IRETI.S.p.A - Società con socio unico IREN S.p.A
Sottoposta a direzione e coordinamento di IREN S.p.A
Sede legale : S.P. 95 per Castelnuovo Scrivia - 15057 Tortona (AL)
cod.fisc e P.IVA n° 01791490343 pec:ireti@pec.ireti.it

LS INGEGNERIA s.r.l.s
Via Dante Alighieri n.11
74015 Martina Franca (TA)
lsingegneriasrls@pec.it
C.fisc.-P.IVA 03000270730

PROGETTISTA :

Ing. Angelo Schiavone iscritto all'ordine degli ingegneri di Torino con n. [illegible]

Ing. ANGELO SCHIAVONE n. 4310

INDICE

1. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO ARCHITETTONICO E STRUTTURALE 3

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO DELL'INTERVENTO 9

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO AI SENSI DEL D.M. 14/01/2008 12

3.1 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO (NTC 2.4) 12
3.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (N.T.C. 3.2.2) 12
3.3 QUALIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE (7.4.3.1, 7.4.5.1, 7.5.2) 12
3.4 RISPONDENZA DEI MATERIALI STRUTTURALI AI REQUISITI DELLA NT VIGENTE 13
3.5 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE (NTC 7.2) 13
3.6 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA (NTC 7.3) 16
3.7 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE (par. 7.1) 16

4. PRINCIPALI RISULTATI DELLE ANALISI SVOLTE 18

5. GIUDIZIO MOTIVATO SULL'ACCETTABILITA' DEI RISULTATI 19

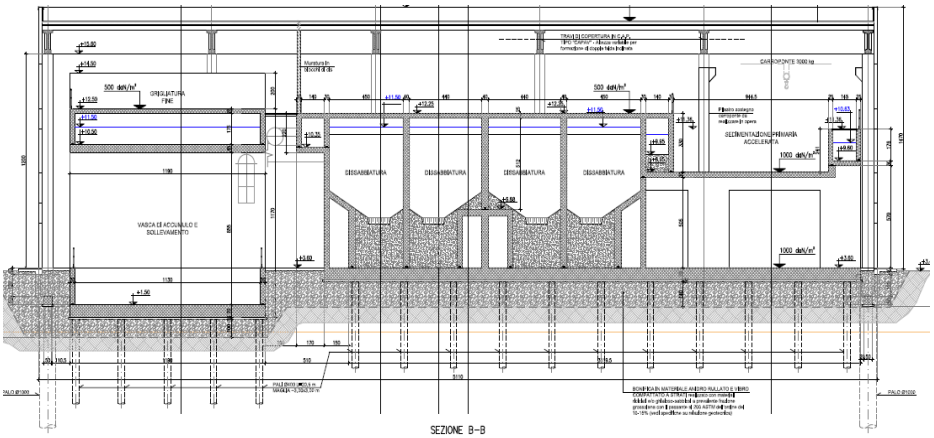
1. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO ARCHITETTONICO E STRUTTURALE

Il nuovo impianto di depurazione area centrale – DAC – di Genova, sarà situato in località Cornigliano, in un'area ora dismessa dall'acciaieria ILVA, nei pressi dello sbocco a mare del Polcevera.

L'impianto sarà costituito dai seguenti comparti:

A. Comparto pretrattamenti primari

Le funzioni di grigliatura, dissabbiatura, sedimentazione primaria accelerata si sviluppano in una serie di vasche di geometria articolata, contenute all'interno di un fabbricato prefabbricato in calcestruzzo di dimensioni planimetriche 51 metri x 23 metri ed altezza 15 metri circa, avente funzione di copertura e riparo e strutturalmente indipendente dalle vasche.



SEZIONE B–B

I manufatti principali sono:

- vasca innesco sifone e sollevamento, dimensioni 10,9 m x 9,5 m h = 8,6 m (piano interrato);
- tre canali grigliatura, dimensioni 2,4 m x 1,9 m (piano primo);
- soletta copertura grigliatura per appoggi attrezzature 11,9 m x 15,8 m (piano secondo);
- solette quadri 6 m x 5,6 m (piano primo e piano secondo);
- quattro vasche dissabbiatura aventi dimensioni 5 m x 21 m h = 8,7 m (piano terra);
- copertura dissabbiatura realizzata con due strisce da 3 m e 2 due strisce da 2 m (piano primo);
- vasca fanghi primari, dimensione 7 m x 7,3 m h = 5 m (piano terra);
- soletta sedimentatori per appoggi attrezzature 9 m x 21 m (piano primo).

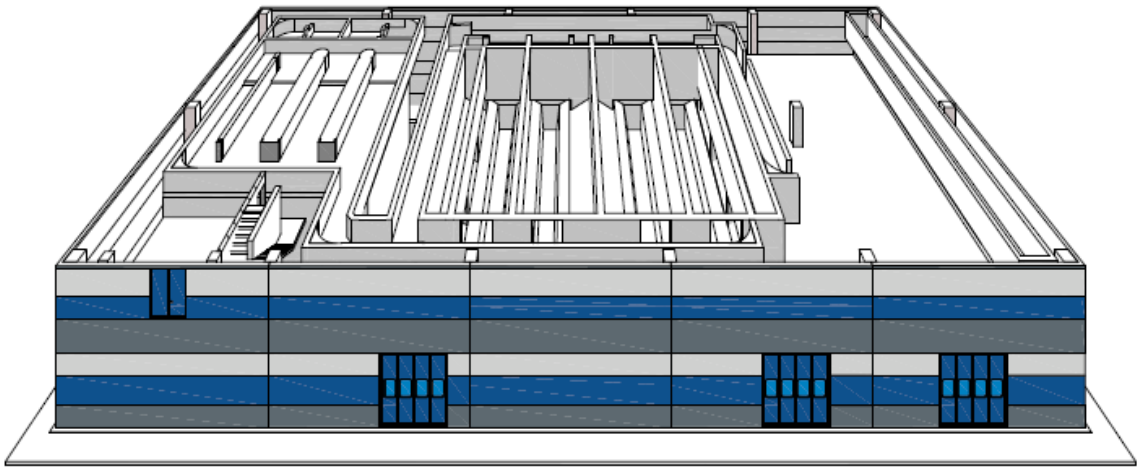
La struttura portante del fabbricato è composta da:

- plinti gettati in opera con bicchiere, su palo di diametro 100 cm;
- pilastri prefabbricati 70 x 70 cm e 60 x 70 cm;
- travi prefabbricate ad altezza variabile in copertura, con lunghezza 22 m circa;
- tegoli prefabbricati in copertura, con lunghezza 10 m circa;

– tamponamento in pannelli prefabbricati in C.A. di tipo orizzontale, fissati ai pilastri.

La struttura portante delle vasche è composta da:

– platea di spessore 70 cm;
– muri di spessore vario (50 cm, 40 cm, 30 cm e 25 cm);
– solette di spessore vario (45 cm, 30 cm e 25 cm)
– pilastri di sezione varia (50 cm x 50 cm, 30 cm x 40 cm e 30 cm x 30 cm);
– travi ribassate per rinforzo solette di sezione varia (30 x 55 cm, 40 cm x 130 cm);
– canalette di vario genere realizzate con elementi spessi 25 cm o 30 cm.



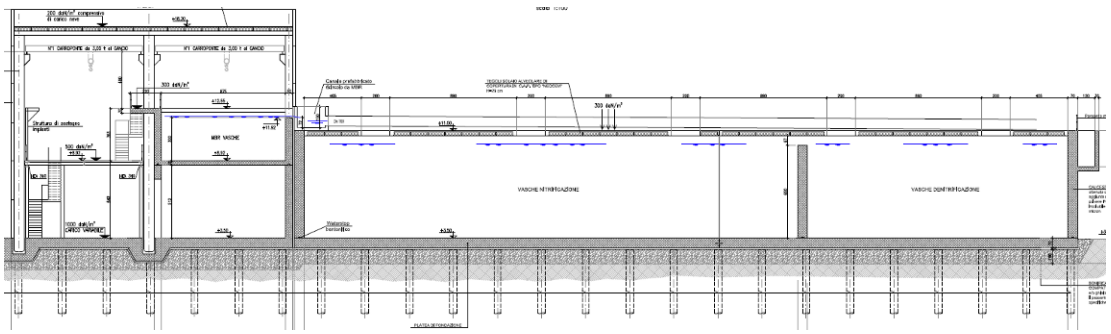
Schema struttura fabbricato pretrattamenti

B. Comparto trattamento biologico e MBR

E' costituito da 5 coppie di vasche con dimensioni 34,7 m x 8 m e 18,3 m x 8 m aventi altezza 7,5 m e da un fabbricato adiacente ma strutturalmente indipendente. Le vasche più lunghe hanno un giunto strutturale.

Il fabbricato ha struttura in C.A. prefabbricata e alcuni pilastri gettati in opera sulla sommità delle vasche, con dimensioni planimetriche 30 m x 44 m e altezza 16 m circa, contiene alcune vasche per le attività di filtrazione ed un soppalco metallico. Nelle due campate longitudinali sono previsti dei carriponte con portata 3000 daN.

La fondazione del fabbricato e degli oggetti contenuti è comune ed è una platea con dei ringrossi in corrispondenza dei bicchieri per i pilastri prefabbricati.



Gli oggetti principali sono:

- due vasche accumulo permeato, dimensioni 8,8 m x 4,6 m e 9,6 m x 4,6 m h = 8,8 m (piano terra);
- dodici vasche MBR, dimensioni 8,8 m x 2,8 m h = 3,4 m circa (piano primo);
- soletta copertura accumulo e passerelle di manutenzione (piano secondo);
- soppalco compressori in struttura metallica.

La struttura portante delle vasche biologico è composta da:

- platea di spessore 70 cm;
- muri di spessore 70 cm;
- copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P.

La struttura portante del fabbricato è composta da:

- platea di spessore 70 cm;
- pilastri prefabbricati 60 cm x 70 cm e gettati in opera con sezioni varie;
- travi prefabbricate in copertura, con lunghezza 9,5 m e 10 m circa;
- copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P.;
- tamponamento in pannelli prefabbricati in C.A. di tipo orizzontale, fissati ai pilastri.

La struttura portante delle vasche accumulo è composta da:

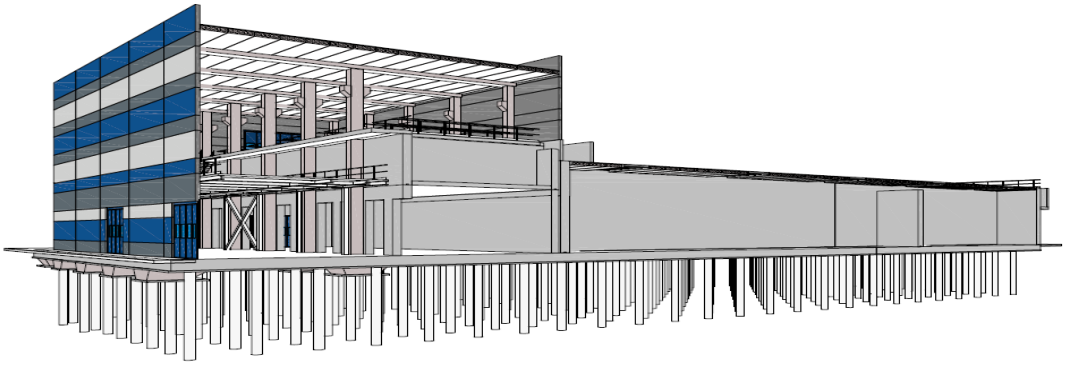
- platea di spessore 70 cm;
- muri di spessore 50 cm;
- solette copertura di spessore 25 cm.

La struttura portante delle vasche MBR è composta da:

- platea di spessore 70 cm;
- muri di spessore 50 cm e setti sezione 50 cm x 100 cm;
- soletta fondo di spessore 30 cm;
- pareti di spessore 30 cm;
- passerelle fra le vasche di spessore 25 cm;
- passerella longitudinale di accesso di spessore 30 cm.

La struttura portante del soppalco compressori è composta da:

- platea di spessore 70 cm;
- telai trasversali realizzati con profilo HEA240;
- travi longitudinali ed intermedie con profilo HEA340;
- controvento di piano realizzato con corrente IPE200 e crociere L80x8;
- controventatura con crociere realizzate con UPN 240;
- piano di calpestio in grigliato metallico;
- 200 daN/m^2 solaio copertura (con neve).

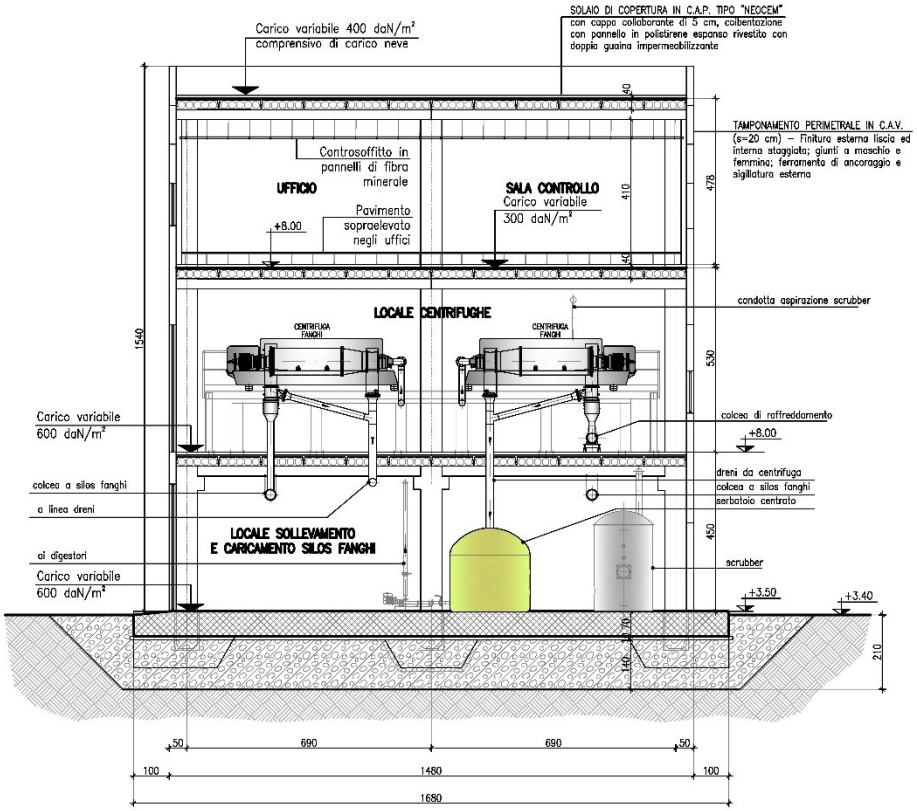


Schema struttura fabbricato trattamento biologico MBR

C. Fabbricato Fanghi

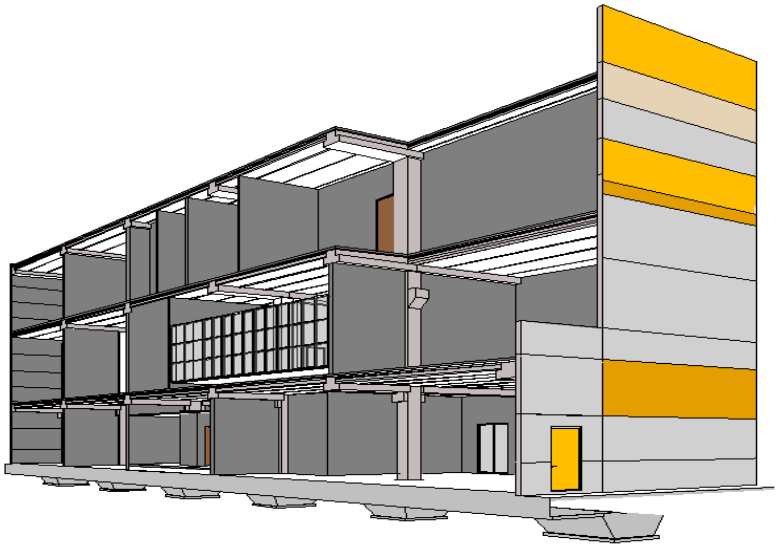
La struttura portante del fabbricato è composta da:

- platea di spessore 70 cm;
- pilastri prefabbricati 60 x 60 cm;
- travi prefabbricate 1° piano, con lunghezza 7 m circa;
- solaio 1° piano (fuori terra) in tegoli prefabbricati in C.A.P;
- travi prefabbricate 2° piano (fuori terra) , con lunghezza 7 m circa;
- solaio 2° piano in tegoli prefabbricati in C.A.P;
- travi prefabbricate in copertura, con lunghezza 7 m circa;
- copertura in tegoli prefabbricati in C.A.P;
- tamponamenti interni realizzati con muratura intelaiata in blocchi di cls sp. 25 cm;
- tamponamento in pannelli prefabbricati in C.A. di tipo orizzontale, fissati ai pilastri.



Le strutture portanti sono costituite da telai in calcestruzzo armato poggianti su una platea di fondazione. Dall'analisi dei carichi agenti risultano dimensioni di 60cm x 60 cm per i pilastri, disposti su tre allineamenti di 6 pilastri ciascuno con interassi 7,50 metri; le travi fuori spessore avranno indicativamente dimensioni pari a 0,60 m x 0,55 m.

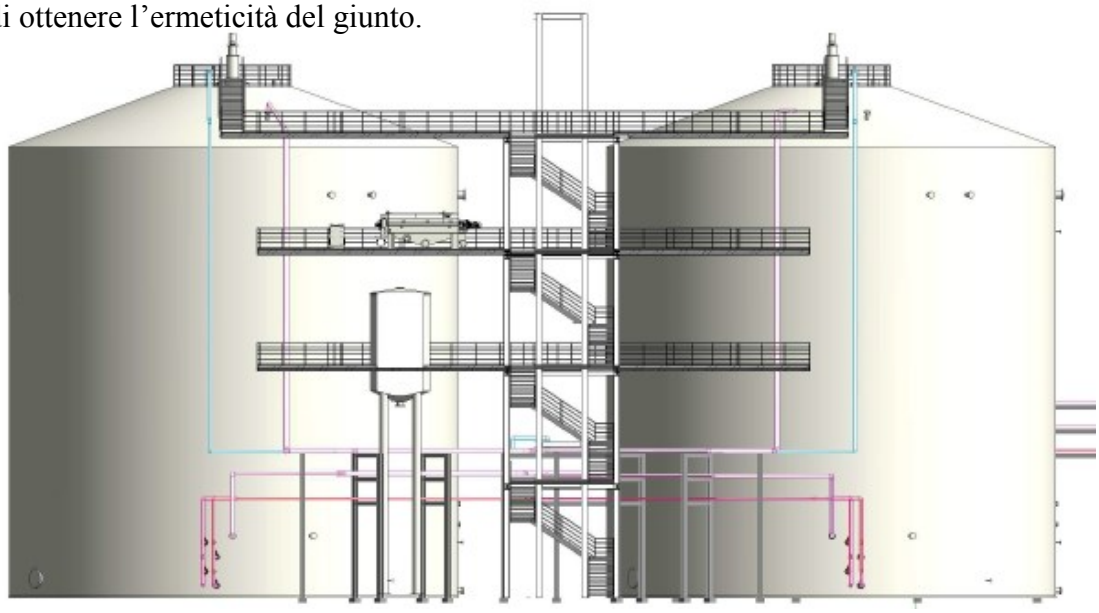
Gli orizzontamenti saranno realizzati con elementi prefabbricati in pannelli alveolari di c.a.p., idonei a sostenere gli elevati sovraccarichi variabili previsti su luci di 7,5 metri con uno spessore dell'elemento prefabbricato di 26,5 cm, integrato con una soletta in calcestruzzo armato di spessore 5 cm.



Si realizzano impalcati monolitici con funzione di piano rigido per la ripartizione delle forze orizzontali di natura sismica sui pilastri, si prevedono quindi adeguate connessioni del solaio alle travi con getti armati integrativi sulle testate, collegamenti tra i pannelli di solaio adiacenti ed incatenamento perimetrale per assorbire le sollecitazioni di trazione derivanti dal comportamento a diaframma.

D. Digestione anaerobica

I serbatoi cilindrici sono realizzati con pannelli in acciaio vetrificato, collegati alla platea di fondazione in calcestruzzo con un sistema di chiusura a scanalature che consente, unitamente al previsto sistema di sigillatura degli angoli, di ottenere l'ermeticità del giunto.



Il comparto comprende:

- quattro digestori anaerobici con diametro 18 metri circa ed altezza 18,80 metri oltre alla copertura, disposti intorno ad una struttura metallica di collegamento con tre pianerottoli, ascensore e scala centrale di accesso;
- un gasometro di diametro 18 metri circa ed altezza 8 metri circa oltre alla copertura.

La struttura portante dei digestori è composta da:

- platea di spessore 100 cm su pali diametro 80 cm;
- serbatoio cilindrico con pareti metalliche di vario spessore.

La struttura portante del gasometro è composta da:

- platea di spessore 70 cm su pali diametro 50 cm;
- serbatoio cilindrico con pareti metalliche di vario spessore.

La struttura portante delle passerelle metalliche (portata utile 300 daN/m^2), con scala e montacarichi, è composta da:

- plinto di fondazione del nucleo scala su pali diametro 80 cm;
- montacarichi con colonne in profilo HEB240, traversi HEB200 e diagonali HEA160;
- colonne scale e passerelle con profili HEB340 e HEB280;
- travi di piano con profili IPE220, HEB200, HEA240 e HEA260;
- crociere di controvento di piano con profili UPN80.

E. Cabina elettrica

L'edificio di altezza totale pari a 7,10 m si sviluppa su due piani ed ha ingombro totale in pianta pari a 18,20 m x 8,66 m; i locali trasformatori ed i locali quadri elettrici sono dislocati sia al piano terra sia al piano primo cui si accede tramite scala e ballatoio esterno. Al piano terra il fabbricato si estende in senso longitudinale per un'ulteriore tratto di lunghezza pari a 2,65 m per ricavare un locale tecnico.

La struttura portante del fabbricato, eseguita in opera, è costituita da telai doppi, disposti nelle due direzioni ortogonali, posti a sostegno degli orizzontamenti costituiti da solette piene. I pilastri che si sviluppano sui due piani hanno sezione rettangolare di lato 30 cm x 35 cm mentre quelli relativi alla porzione limitata al piano terra e quello di sostegno del pianerottolo della scala hanno sezione quadrata di lato 25 cm; tutti gli elementi verticali risultano incastrati alla base. La fondazione è su platea di spessore 40 cm; gli orizzontamenti, in soletta piena di calcestruzzo armato hanno spessore 15 cm.

Il ballatoio presente su uno dei due fronti longitudinali è rialzato rispetto alla quota del solaio al piano primo di circa 50 cm per portarsi a livello del pavimento flottante; al ballatoio è collegata la scala a due rampe di collegamento tra questo piano ed il piano terra.

I tamponamenti perimetrale e le principali murature interne sono realizzati con muratura in blocchi di calcestruzzo di spessore 25 cm.

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO DELL'INTERVENTO

- **Tipologia edifici**: nuova costruzione, in calcestruzzo armato/calcestruzzo armato precompresso/acciaio.
- **Normativa applicata**:
  - ⇨ **D. M. INFRASTRUTTURE 14 gennaio 2008**
    "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
  - ⇨ **Circ. M. INFRASTRUTTURE E TRASPORTI 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP.**
    Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
  - ⇨ **D.G.R. Liguria n° 1384/2003**
    "Ordinanza n. 3274/2003. Articolo2, comma 4 . Rischio sismico. Approvazione elenco edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali e del Programma temporale delle verifiche"
  - ⇨ **D.G.R. Liguria del 17 marzo 2017 n. 216**
    "OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"
- **Azioni statiche sulle costruzioni:**
  - Le azioni generali agenti sugli elementi costituenti i singoli comparti sono:
    - **Permanenti**

Peso proprio delle strutture cls armato	2500 daN/m^3
Peso proprio massetto di pendenza	1600 daN/m^3
Peso tamponamenti interni in muratura di cls	1200 daN/m^3
Peso tamponamenti esterni prefabbricati	300 daN/m^2
Peso del liquido nelle vasche	1050 daN/m^3

    - **Variabili**

      Variabile **NEVE** (DM 14/01/2008):

      Zona Neve = II a_s = 19 m s.l.m

      Ce (coeff. di esposizione al vento) = 1.00

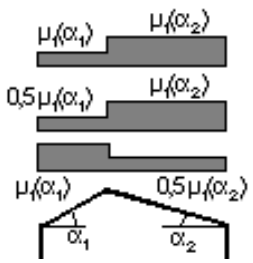
      Valore caratteristico del carico al suolo (qsk Ce) = 100 daN/m^2

      <u>Copertura a due falde:</u>

      Angolo di inclinazione della falda $\alpha 1$ = 0.0° $\mu 1(\alpha 1)$ = 0.80 => Q1 = 80 daN/m^2

      Angolo di inclinazione della falda $\alpha 2$ = 0.0° $\mu 1(\alpha 2)$ = 0.80 => Q2 = 80 daN/m^2

      Schema di carico:



Variabile **VENTO** (DM 14/01/2008):

Zona vento = 7 (Vb.o = 28 m/s; Ao = 1000 m; Ka = 0.015 1/s)

Classe di rugosità del terreno: B [Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive]

Categoria esposizione: tipo IV (Kr = 0.22; Zo = 0.30 m; Zmin = 8 m)

Velocità di riferimento = 28.00 m/s

Pressione cinetica di riferimento (qb) = 49 daN/m^2

Coefficiente di forma (Cp) = 1.00

Coefficiente dinamico (Cd) = 1.00

Coefficiente di esposizione (Ce) = 2.35

Coefficiente di esposizione topografica (Ct) = 1.00

Altezza dell'edificio = 22.00 m

Pressione del vento (p = qb Ce Cp Cd) = 115 daN/m^2

pareti sopravento	c_p = 0,8	p ≅ 92 daN/m²
pareti sottovento	c_p = -0,4	p ≅ -46 daN/m²

– Le azioni agenti sui singoli elementi portanti cambiano in base alla destinazione delle aree costituenti il manufatto in oggetto e possono essere riassunte come segue:

- **Pretrattamenti primari**:
  - fondo vasca innesco sifone e sollevamento (piano interrato): p=5800 daN/m^2;
  - fondo canali grigliatura (piano primo): p=1600 daN/m^2;
  - soletta copertura grigliatura (piano secondo): q=500 daN/m²;
  - solette quadri grigliatura (piano primo e secondo): q=500 daN/m²;
  - fondo vasche dissabbiatura (piano terreno): g= 4000 daN/m^2 p=6300 / 8400 daN/m^2;
  - soletta copertura dissabbiatura (piano secondo): q=500 daN/m²;
  - fondo vasca fanghi (piano terreno): g= 0.0 / 3200 daN/m^2 p=4700 daN/m^2;
  - soletta sedimentatori (piano primo): q=1000 daN/m²;
  - pavimento (piano terreno): q= 1000 daN/m^2
  - solaio copertura fabbricato: g + p=150 daN/m² q=200 daN/m² (compresa neve)
- **Trattamento biologico ed MBR:**
  - fondo vasche biologico (piano terra): p=7000 daN/m^2;
  - solaio copertura vasche: g + p=540 daN/m² q=300 daN/m² (compresa neve)
  - vasche di accumulo (piano terra): p=8710 daN/m^2;
  - vasche MBR (piano primo): p=3360 daN/m^2;
  - soletta copertura vasche e passerelle (piano secondo): q=300 daN/m²;
  - solaio soppalco compressori: g + p = 250 daN/m² q = 500 daN/m²

- pavimento (piano terreno): q= 1000 daN/m^2
- solaio copertura fabbricato: g=540 daN/m² p=200 daN/m² q=200 daN/m² (compresa neve)
- carriponte N_{max} = 4200 daN N_{min} = 820 daN eccentricità da asse pilastro e = 55 cm

- **Ispessimento e disidratazione:**
  - pavimento (piano terreno): q= 600 daN/m^2
  - solaio primo piano: g = 540 daN/m² q = 600 daN/m²
  - solaio secondo piano: g = 540 daN/m^2 p = 100 daN/m^2 q = 300 daN/m^2
  - solaio copertura fabbricato: g=540 daN/m² p=200 daN/m² q=400 daN/m² (compresa neve)
- **Digestione anaerobica:**
  - fondo vasche digestori (piano terra): p = 20000 daN/m^2;
  - fondo vasca gasometro (piano terra): p = 7500 daN/m^2;
  - scala accesso passerelle: p = 100 daN/m^2 q = 400 daN/m^2;
  - passerelle digestori: p = 100 daN/m^2 q = 300 daN/m^2.
- **Cabina elettrica:**
  - piano terreno q = 500 daN/m^2;
  - piano primo q = 500 daN/m^2.

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO AI SENSI DEL D.M. 14/01/2008

3.1 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO (NTC 2.4)

Secondo quanto previsto al cap. 2 delle NTC ed ai fini della definizione dei livelli di sicurezza e delle prestazioni attese, ai vari manufatti sono stati attribuiti i seguenti parametri:

- vita nominale $V_N = 100$ anni
  (tipo di costruzione 3, opere infrastrutturali di importanza strategica)
- classe d'uso IV e quindi $C_U = 2$
  (costruzioni con funzioni strategiche importanti; gli impianti di depurazione sono riportati nel D.G.R. n° 1384/2003 ELENCO B "Categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso")
- periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \bullet C_U = 200$ anni

3.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (N.T.C. 3.2.2)

Dalla relazione geologica e di modellazione sismica risulta:

- categoria del sottosuolo: C
- categoria topografica: T1
- amplificazione topografica: ST = 1
- zona sismica del sito: Zona 3 (DGR n° 216 del 17/03/2017, precedentemente zona 4)
- coordinate del sito (WGS84): longitudine 8,87224° latitudine 44,41041°

3.3 QUALIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE (7.4.3.1, 7.4.5.1, 7.5.2)

A) Comparto pretrattamenti primari:

edificio	c.a.p.	struttura a pilastri isostatici
vasche	c.a.	struttura a pareti

B) Comparto trattamento biologico:

edificio	c.a.p.	struttura a pilastri isostatici
vasche	c.a.	struttura a pareti

C) Fabbricato fanghi:

edificio	c.a.p.	struttura a pilastri isostatici

D) Digestione anaerobica:

serbatoi	acciaio	struttura a pareti
passerelle	acciaio	struttura a telaio

E) Cabina elettrica c.a. struttura a telaio

3.4 RISPONDENZA DEI MATERIALI STRUTTURALI AI REQUISITI DELLA NT VIGENTE

Come meglio precisato nella relazione sui materiali si prevede l'utilizzo di:

acciaio per c.a.	B 450 C	
conglomerato cementizio:	C12/15	getti di pulizia, riempimenti
	C25/30	pali di fondazione (XC2)
	C28/35	tamponamenti prefabbricati (XC2, XS1)
	C32/40	strutture gettate in opera (XC2, XS1, XA1)
	C45/55	strutture prefabbricate (XC2, XS1)
acciaio per carpenteria	S 275 JR	

3.5 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE (NTC 7.2)

- **Classe di duttilità**: CB "B" classe di duttilità bassa
- **Regolarità**: in pianta / in alzato; fattore di struttura q

pretrattamenti – edificio	SI	SI	1,5
pretrattamenti – vasche	NO	NO	1,0
biologico – edificio	NO	NO	1,5
biologico – vasche	SI	SI	1,0
fanghi – edificio	SI	SI	1,5
digestione – passerelle	NO	NO	3,0
cabina elettrica	NO	NO	1,5

- **Giunti di separazione tra strutture continue**:

pretrattamenti:	giunto tra l'edificio e le vasche realizzate all'interno
biologico:	giunto tra edificio e vasche, a loro volta giuntate in modo da costituire due blocchi indipendenti.

- **Criteri per la valutazione degli elementi non strutturali e degli impianti:**

  secondo indicazioni di norma, paragrafi 7.2.3 e 7.2.4

- **Requisiti delle fondazioni e collegamenti tra le fondazioni**:

pretrattamenti – edificio:	plinti su palo ϕ 100 collegati da travi
pretrattamenti – vasche:	fondazione a platea con pali limitatori di cedimento
biologico – edificio:	fondazione a platea con pali limitatori di cedimento

biologico – vasche:	fondazione a platea con pali limitatori di cedimento
fanghi – edificio:	fondazione a platea su terreno bonificato
digestione – vasche:	fondazione a platea su pali
cabina elettrica:	fondazione a platea su terreno bonificato.

Sono rispettati tutti i requisiti strutturali di normativa par. 7.2.5.

- **Criteri adottati per la definizione del modello della struttura**:

L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

K * **u** = **F** dove **K** = matrice di rigidezza
u = vettore spostamenti nodali
F = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo ***TRUSS*** (biella-D2)
- Elemento tipo ***BEAM*** (trave-D2)
- Elemento tipo ***MEMBRANE*** (membrana-D3)
- Elemento tipo ***PLATE*** (piastra-guscio-D3)
- Elemento tipo ***SOLAIO*** (macro elemento composto da più membrane)

- **Codici di calcolo utilizzati**.

Nella maggior parte dei casi di è utilizzato:

Informazioni sul codice di calcolo	
Titolo:	PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program
Versione:	PROFESSIONAL (build 2017-04-177)
Produttore-Distributore:	2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., Ferrara
Codice Licenza:	Licenza dsi2280

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ***ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico***. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione:

Affidabilità dei codici utilizzati
2S.I. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche. E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link: http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm

Si sono inoltre utilizzati:

Titolo:	DOLMEN WIN ®, versione 18.0
Versione:	Release 18
Produttore-Distributore:	CDM DOLMEN s.r.l., Torino

Titolo:	CIVIL SOFT
Software:	ALGOR SUPERSAP
Produttore:	ASG s.r.l., PIACENZA

3.6 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA (NTC 7.3)

- L'analisi delle strutture è stata condotta con:

  ANALISI STATICA LINEARE combinazioni ordinarie
  ANALISI DINAMICA LINEARE (analisi nodale con spettro di risposta) combinazioni sismiche

- Le non linearità geometriche sono state valutate attraverso il fattore

$$\theta = (P \bullet d_r)/(V \bullet h)$$

  individuando i seguenti valori (da modello di calcolo):

edificio pretrattamenti primari	$\theta_x = 0,13$	$\theta_y = 0,11$
edificio membrane MBR	$\theta_x = 0,08$	$\theta_y = 0,18$
edificio fanghi	$\theta_x = 0,14$	$\theta_y = 0,14$
passerelle digestori	$\theta_x = 0,18$	$\theta_y = 0,14$
cabina elettrica	$\theta_x = 0,02$	$\theta_y = 0,04$

  quando θ risulta compreso tra 0,1 e 0,2 gli effetti della non linearità geometrica sono stati presi in conto incrementando l'azione sismica orizzontale di un fattore $1/(1-\theta)$.

3.7 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE (par. 7.1)

- **SLV stati limite ultimi**:
  - *in termini di resistenza* (7.3.6.1): $E_d < R_d$

    le resistenze di calcolo dei materiali sono state calcolate considerando:

    $f_d = f_k/\gamma_m$

    con: $\gamma_m = 1,5$ per calcestruzzo
    $\gamma_m = 1,15$ per acciaio c.a. in condizioni sismiche
    $\gamma_m = 1,30$ per acciaio c.a. in condizioni statiche (per il contenimento della fessurazione, che deve comunque essere inferiore a 0,2 mm corrispondente a W_1 in ambiente aggressivo, armature con sufficiente copriferro, azioni quasi permanenti)

  - *in termini di resistenza* (7.3.6.2): i fattori q adottati sono giustificati dall'avvenuta applicazione delle regole di progetto specifiche e di gerarchia delle resistenze per le diverse tipologie costruttive.

- **SLD stati limite di esercizio;** si è inoltre considerato SLO (strutture in classe d'uso IV) verificando che per tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa sia:

  $$d_r < (0{,}005\ h) \bullet 2/3 = 0{,}0033\ h$$

  (ad esempio per il comparto pretrattamenti primari – fabbricato risulta $d_r = 0{,}00295\ h < 0{,}0033\ h$) oppure che la struttura possieda una capacità di spostamento superiore alla domanda.

4. PRINCIPALI RISULTATI DELLE ANALISI SVOLTE

Nella "*Relazione opere strutturali dei manufatti e dei fabbricati*" sono riportati i dati più significativi delle analisi svolte, in particolare:

- ⇨ per i dati in ingresso:
  - modello solido della struttura
  - numerazione di nodi e ed elementi
  - configurazioni di carico statiche

- ⇨ per le combinazioni più significative (statisticamente più gravose per la struttura):
  - configurazioni deformate
  - diagrammi e inviluppi delle azioni interne
  - mappe delle pressioni sul terreno

- ⇨ per il progetto-verifica degli elementi:
  - diagrammi di armatura
  - percentuali di sfruttamento
  - mappe delle verifiche più significative per i vari stati limite

Si rimanda pertanto alla relazione citata per l'esame dei risultati ottenuti; lo sviluppo dettagliato dei calcoli è riportato negli allegati (uno per ciascun comparto) della stessa relazione.

5. GIUDIZIO MOTIVATO SULL'ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

- Al fine di fornire un giudizio motivato di accettabilità dei risultati delle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo, come richiesto al punto 10.2 NTC08, il progettista strutturale assevera di aver:
  - esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software agli elementi finiti e di ritenerlo affidabile ed idoneo alla struttura in oggetto;
  - controllato accuratamente i tabulati di calcolo, in particolare il listato degli errori numerici del solutore e le tabelle di verifica delle sezioni.

- Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa.

- I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura.
  Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

- Gli stati tensionali e deformativi esaminati nei vari elementi sono sempre entro i limiti previsti dalla normativa vigente per l'uso previsto del manufatto; le sollecitazioni agenti negli elementi resistenti risultano inferiori al limite consentito dalla normativa; le deformazioni degli elementi sono compatibili con la destinazione d'uso delle strutture e rispettano le limitazioni richieste per il funzionamento degli impianti.

Pertanto si ritiene che i risultati siano accettabili e che il presente progetto strutturale sia conforme alle Leggi n. 1086/71 e n. 64/74, e al D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le Costruzioni" e alla Circolare 2/2/2009 n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".