



Comune di Gorla Maggiore

Progetto Esecutivo

SISTEMA NATURALE DI DEPURAZIONE E LAMINAZIONE DELLE ACQUE
DI SFIORO DELLA RETE FOGNARIA COMUNALE

Calcoli strutturali



Coordinatore del Progetto: Ing. Nicola Martinuzzi		Direttore Tecnico: Dr. Fabio Masi
Progettisti: Ing. Nicola Martinuzzi - Dr. Fabio Masi - Ing. Riccardo Bresciani - Prof. Ugo Majone Ing. Alessandro Balbo - Ing. Denis Cerlini - Ing. Beatrice Majone		
ID documento: 1D	Data redazione: Luglio 2009	Revisione: 00
Redatta da: Ing. Alessandro Balbo Ing. Denis Cerlini		
Verificata da: Ing. Nicola Martinuzzi		

1.	DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'OPERA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
4.	ANALISI DEI CARICHI	6
4.1	ANALISI DEI CARICHI STATICI	6
4.2	ANALISI DELL'AZIONE SISMICA	6
5.	VERIFICHE DI RESISTENZA	8
5.1	MANUFATTO SCOLMATORE	8
5.1.1	Copertura in C.A.	9
5.1.2	Parete in direzione y	10
5.1.3	Parete in direzione x	11
5.1.4	Platea di fondazione	12
5.2	MANUFATTO DI SCARICO IN OLONA	13
5.2.1	Copertura in C.A.	13
5.2.2	Parete in direzione y	14
5.2.3	Parete in direzione x	15
5.2.4	Platea di fondazione	16
6.	VERIFICHE GEOTECNICHE	18
6.1	VERIFICA DELLA CAPACITA' PORTANTE	18
6.2	VERIFICA AL GALEGGIAMENTO	18
7.	DETTAGLI COSTRUTTIVI	19
7.1	ARAMTURA MINIMA	19
7.2	COPRIFERRO E INTERFERRO	19
7.3	ANCORAGGIO ALLE BARRE DI ARMATURA	19
7.4	DISPOSITIVI WATER-STOP	19

1. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'OPERA

Nel seguito si riporta la progettazione strutturale dei manufatti in C.A. componenti il sistema di fognatura di Gorla Maggiore: il manufatto scolmatore, che ha il compito di ripartire le portate tra i diversi componenti di ingresso al sistema e il manufatto di scarico nel Fiume Olona.

L'intervento complessivo si colloca nella valle del Fiume Olona delimitata ad Ovest dal Fiume Olona, a Nord dal limite comunale di Fagnano Olona, ad Est dalla Ferrovia della Valmorea, affiancata dalla Strada Comunale Via per Fagnano.

Le finalità del progetto sono principalmente legate sia alla qualità delle acque scaricate nel fiume Olona sia alla riduzione del rischio idraulico del territorio in esame.

Le strutture in cls armato dell'impianto di fognatura saranno tutte realizzate in calcestruzzo gettato in opera di classe C28/35, (norme UNI 11904), utilizzando acciaio da armatura tipo B450C (FeB 44 k).

Entrambi gli elementi analizzati nel seguito sono costituiti da:

- soletta di copertura in calcestruzzo armato;
- pareti verticali contro terra in calcestruzzo armato;
- platea di fondazione in calcestruzzo armato;
- eventuale secondo getto in calcestruzzo non armato per garantire le pendenze opportune per lo scarico delle acque (2%).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto della struttura in cemento armato e delle paratoie in acciaio è stato effettuato con riferimento alla seguente normativa:

- LEGGE 5/11/71, n. 1086: “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- D.M. 11/3/1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- D.M. 14/02/1992 “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. 09/1/96: “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. 16/1/96: “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, G.U. n.105 8 maggio 2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e s.m.i..
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale della Presidenza del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici, dicembre 1996.
- D.M. 14/09/2005: “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 14/01/2008: “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Norma DIN 19704/1976: “Costruzioni idrauliche in acciaio”.

A seguito del D.L. 28 aprile 2009, n.39 il regime transitorio delle Norme Tecniche 2008 termina il 30.06.2009 e diventano obbligatorie dal 01.07.2009 per tutte le costruzioni, con l'impossibilità di applicare le precedenti norme per le costruzioni non ancora iniziate, ovvero il DM 16.01.1996 e il DM 14.05.2005. Tuttavia l'art. 20, comma 3 della Legge 31/2008 precisa che: “per le costruzioni e per le opere infrastrutturali iniziate, [...] continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo. Mentre, sempre all'art 20 comma 3, la Legge 31/2008 precisa che: nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore (n.d.r: l'entrata in vigore del DM 14.01.2008 è il 05.03.2008) [...] continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo”.

Conformemente a quanto specificato all'art. 20 comma 3 della Legge 31/2008 in fase esecutiva le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte utilizzando la previgente normativa (D.M. 11/03/88 e D.M. 09/01/96); le verifiche delle sezioni in calcestruzzo armato verranno condotte utilizzando il Metodo delle Tensioni Ammissibili.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali utilizzati per realizzare il calcestruzzo armato dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- Calcestruzzo strutturale (conforme UNI 11104)
- Peso specifico calcestruzzo armato 2 400 kg/m³
- Peso specifico calcestruzzo per il secondo getto 2200 kg/m³
- Tensione caratteristica di rottura a compressione R_{ck} 35 MPa
- Modulo di elasticità E_c 33 700 MPa
- Tensione normale ammissibile $\overline{\sigma}_c$ 11.0 MPa
- Tensione tangenziale ammissibile $\overline{\tau}_{c0}$ 0.67 MPa
- Tensione tangenziale ammissibile $\overline{\tau}_{c1}$ 1.97 MPa
- Copriferro: 4.0 cm
- Diametro massimo inerti: 25 mm
- Rapporto massimo acqua cemento: 0.55
- Contenuto minimo di cemento: 320 kg/m³
- Classe di esposizione: XA1
- Classe di consistenza: S4

Per il calcestruzzo si utilizza un legame costitutivo elastico, lineare, omogeneo e isotropo, come previsto dal Metodo delle Tensioni Ammissibili, assumendo nulla la resistenza del conglomerato a trazione (verifiche statiche con sezione parzializzata).

Armatura: acciaio ordinario tipo B450C (FeB44 k)

- Modulo di elasticità E_s 206 000 MPa
- Tensione normale ammissibile $\overline{\sigma}_s$ 255 MPa
- Coefficiente di omogeneizzazione acciaio – calcestruzzo n 15

Per l'acciaio si utilizza un legame costitutivo elastico, lineare, omogeneo, isotropo e iso-resistente, come previsto dal Metodo delle Tensioni Ammissibili.

Terreno di rinfilanco e fondazione

- Peso specifico medio del terreno saturo 19.5 kN/m³
- Peso specifico dell'acqua 10.0 kN/m³
- Angolo di resistenza al taglio drenato 30°
- Coesione drenata 0 kPa

4. ANALISI DEI CARICHI

4.1 Analisi dei carichi statici

I carichi agenti sulla struttura possono essere così riassunti:

- peso proprio delle membrature in C.A., determinato sulla base del peso specifico del conglomerato armato (24.0 kN/m³);
- peso proprio dei sovraccarichi permanenti in calcestruzzo (getto di seconda fase), determinato sulla base del peso specifico del conglomerato (22.0 kN/m³);
- peso dell'acqua contenuta all'interno delle vasche (10.0 kN/m³);
- spinta attiva del terreno immerso, assumendo cautelativamente la quota di falda pari al livello del piano campagna: per il manufatto scolmatore (Ht = 3,50m), per il manufatto di scarico in Olona (Ht = 3,15m);
- spinta idraulica orizzontale, assumendo cautelativamente la quota di falda pari al livello del piano campagna: per il manufatto scolmatore (Ht = 3,50m), per il manufatto di scarico in Olona (Ht = 3,15m);
- sottospinta idraulica verticale, assumendo cautelativamente la quota di falda pari al livello del piano campagna per il manufatto scolmatore (Ht = 3,50m), per il manufatto di scarico in Olona (Ht = 3,15m);
- reazione del terreno;
- sovraccarico dovuto al transito veicolare sul manufatto scolmatore: 20.0 kPa;

4.2 Analisi dell'azione sismica

Ai sensi del D.M. 16.01.96, il comune in corrispondenza del quale verrà realizzato il manufatto oggetto di relazione (Gorla Maggiore, provincia di Varese) risultava classificata come zona non sismica.

Al fine di garantire un opportuno grado di sicurezza delle strutture in esame si è deciso di applicare comunque l'azione sismica sui manufatti, con riferimento a quanto proposto dall'Ordinanza n° 3274 del 20.03.03 e successive modifiche e integrazioni, nella quale la nuova zonizzazione sismica ha portato a classificare i suddetti comuni come zona 4, a cui corrisponde un rapporto $ag/g = 0.05$, dove:

ag è l'accelerazione di picco orizzontale al suolo;

g è l'accelerazione di gravità.

Così come indicato dalla normativa, l'azione sismica sulla struttura può essere rappresentata da "un insieme di forze statiche orizzontali e verticali date dal prodotto delle forze di gravità per un coefficiente sismico" (metodo pseudo – statico).

I coefficienti sismici orizzontale (k_h) e verticale (k_v) sono rappresentati dalle seguenti equazioni:

$$k_h = S \frac{a_g}{g} \frac{1}{r}; \quad k_v = 0.5k_h$$

dove:

- S è il fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione, pari a 1.25 per il tipo di terreno di fondazione presente (valore indicato nell'Ord. 3274 del 20.03.2003 per le tipologie A - "depositi di ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti", B - "depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille mediamente consistenti", E - "profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali");
- r è il coefficiente da assumersi pari a 1 nel caso, come quello in esame, di opere di sostegno che non ammettano spostamenti.

Il coefficiente di spinta del terreno K (statico + dinamico) deve essere determinato secondo quanto previsto dalle teorie di Mononobe Okabe, valida per stati di spinta attiva quale risulta essere quello in esame:

- se $\beta \leq \phi - \vartheta$:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi - \phi - \vartheta) \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \beta - \vartheta)}{\text{sen}(\psi - \vartheta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

- se $\beta > \phi - \vartheta$:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi - \vartheta - \delta)}$$

dove:

- ϕ è l'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace;
- ψ β sono gli angoli di inclinazione rispetto all'orizzontale rispettivamente della parete del muro rivolta a monte e della superficie del terrapieno;
- θ è invece definito per i casi, quale quello in esame, in cui il livello della falda è al di sotto del muro di sostegno, dalla seguente espressione:

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Dalle considerazioni precedenti è quindi possibile determinare un coefficiente di spinta attiva "amplificato" dall'azione sismica, pari a 0.38 e i coefficienti sismici orizzontale ($k_h = 0.0625$) e verticale ($k_v = 0.0313$).

5. VERIFICHE DI RESISTENZA

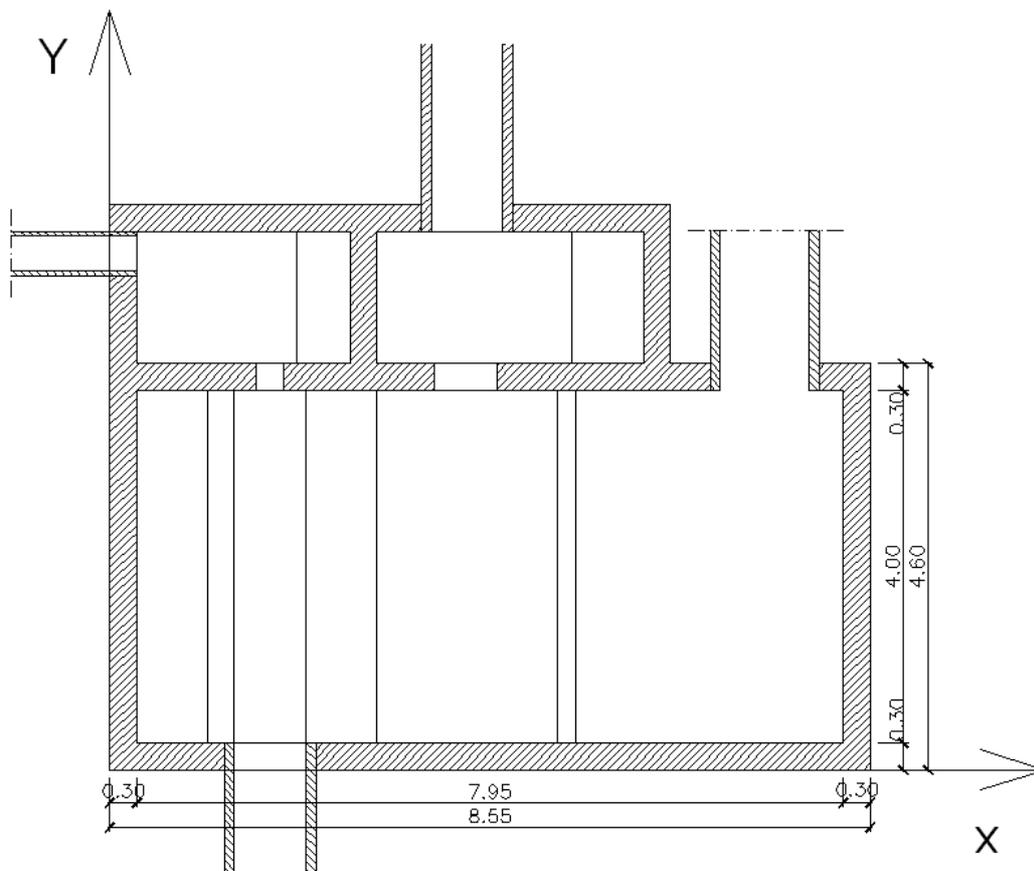
Le verifiche della struttura in C.A. vengono condotte utilizzando il Metodo delle Tensioni Ammissibili. Per quanto riguarda le pareti laterali, la soletta di copertura e la platea di fondazione, si assume un comportamento a piastra opportunamente vincolate. L'analisi viene effettuata utilizzando le equazioni approssimate fornite dalla letteratura tecnica.

Nel seguito si farà riferimento alla seguente simbologia:

- h = altezza della sezione reagente;
- b = base della sezione reagente;
- c = copri ferro netto (assunto pari a 40mm);
- d' = distanza tra il baricentro delle armature e il lembo della sezione,
- $d = h - d'$ = altezza utile della sezione reagente;
- A_s = area delle armature tese;
- $A's$ = area delle armature compresse.

5.1 MANUFATTO SCOLMATORE

Di seguito si riporta la pianta del manufatto scolmatore, le verifiche verranno condotte sulla scatola principale di dimensioni 8.55 m in direzione x e 4.60 m lungo y.



5.1.1 Copertura in C.A.

La copertura del manufatto scolmatore verrà realizzata in C.A. ed è costituita da una soletta poggiate sui muri perimetrali di spessore 0.5 m. Lo schema utilizzato è quello di piastra appoggiata sui lati soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati sono:

- peso proprio: 12 kN/m²;
- sovraccarico veicolare: 20 kN/m²;
- sisma in direzione verticale: 0.37 kN/m².

Per quanto riguarda la campata in direzione y:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	50	5	45	5	15	7,50	10,05	10,05	

Il massimo momento in mezzeria è pari a $M = 64.94 \text{ kN m}$ da cui deriva:

σ_c [MPa]	2,82	Verificato
σ_s [MPa]	155,49	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza degli appoggi : 67.31 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,17	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione y si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 16/m$.

Per quanto riguarda la campata in direzione x:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	50	5	45	5	15	7,50	7,70	7,70	

Il massimo momento in mezzeria è pari a $M = 35.03 \text{ kN m}$ da cui deriva:

σ_c [MPa]	1,73	Verificato
σ_s [MPa]	108,60	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza degli appoggi : 56.47 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,14	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione y si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 14/m$.

5.1.2 Parete in direzione y

Lo schema utilizzato è quello di piastra, spessore 0.3 m, appoggiata in corrispondenza di soletta e lati (3.5 m), incastrata alla base (4.6 m) soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati in direzione orizzontale sono:

- spinta attiva del terreno: 12.24 kN/m²;
- spinta idrostatica: 35 kN/m²;
- sisma in direzione orizzontale: 0.45 kN/m².

Per quanto riguarda la campata in direzione y (incastrata alla base, appoggiata in sommità alla soletta):

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione								
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]
100	30	5	25	5	15	4,50	10,05	10,05

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 35.9 kN m da cui deriva:

σ _c [MPa]	4,11	Verificato
σ _s [MPa]	159,56	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 66.76 kN da cui deriva:

τ _c [MPa]	0,30	Armatura minima
----------------------	------	------------------------

In direzione verticale si prevedono dunque : As = A's = 5Φ16/m.

Per quanto riguarda la campata in direzione x in doppio appoggio:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione								
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]
100	30	5	25	5	15	4,50	7,70	7,70

Il momento massimo in mezzeria è pari a 15.31 kN m da cui deriva:

σ _c [MPa]	1,98	Verificato
σ _s [MPa]	87,65	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'appoggio : 20.32 kN da cui deriva:

τ _c [MPa]	0,09	Armatura minima
----------------------	------	------------------------

In direzione orizzontale si prevedono dunque : As = A's = 5Φ14/m.

I carichi applicati in direzione verticale sono:

- peso proprio della parete: 25.2 kN m;

- reazione della soletta di copertura carrabile 136.8 kN m;
- sisma in direzione verticale: 0,79 kN m .

Con le armature ipotizzate anche la verifica a compressione risulta soddisfatta.

5.1.3 Parete in direzione x

Lo schema utilizzato è quello di piastra, spessore 0.3 m, appoggiata in corrispondenza di soletta e lati (3.5 m), incastrata alla base (8.55 m), soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati in direzione orizzontale sono:

- spinta attiva del terreno: 12.24 kN/m²;
- spinta idrostatica: 35 kN/m²;
- sisma in direzione orizzontale: 0.45 kN/m².

Per quanto riguarda la campata in direzione y (incastrata alla base, appoggiata in sommità alla soletta):

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione								
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]
100	30	5	25	5	15	4,50	10,05	10,05

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 37.13 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	4,25	Verificato
σ_s [MPa]	165,01	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 69.66 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,31	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione verticale si prevedono dunque : As = A's = 5 Φ 16/m.

Per quanto riguarda la campata in direzione x in doppio appoggio:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione								
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]
100	30	5	25	5	15	4,50	7,70	7,70

Il momento massimo in mezzeria è pari a 17.11 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	2,21	Verificato
σ_s [MPa]	97,97	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'appoggio : 37.34 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]
0,17 Armatatura minima

In direzione orizzontale si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 14/m$.

I carichi applicati in direzione verticale sono:

- peso proprio della parete: 25.2 kN m;
- reazione della soletta di copertura carrabile 136.8 kN m;
- sisma in direzione verticale: 0,79 kN m .

Con le armature ipotizzate la verifica a compressione risulta soddisfatta.

5.1.4 Platea di fondazione

Lo schema utilizzato è quello di piastra, spessore 0.6 m, incastrata su tutti e quattro i lati (4.6 m e 8.55 m) soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati in direzione verticale sono:

- reazione del terreno dovuta al peso proprio del manufatto pieno di acqua, tenendo conto del getto di seconda fase (spessore 0.8 m) : 96.8 kN/m²;
- sottopressione idraulica, ipotizzando la falda a quota piano campagna: 35 kN/m²;
- sisma in direzione verticale: 1.35 kN/m².
-

Per quanto riguarda la campata in direzione y:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	$A_{s_{min}}$ [cm ²]	A_s [cm ²]	$A's$ [cm ²]	
100	60	5	55	5	15	9,00	19,01	19,01	

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 228,58 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	5,26 Verificato
σ_s [MPa]	238,79 Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 321 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,65 Armatatura minima
----------------	-------------------------------

In direzione verticale si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 22/m$.

Per quanto riguarda la campata in direzione x:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	$A_{s_{min}}$ [cm ²]	A_s [cm ²]	$A's$ [cm ²]	
100	60	5	55	5	15	9,00	15,71	15,71	

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 171.37 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	4,34	Verificato
σ_s [MPa]	215,53	Verificato

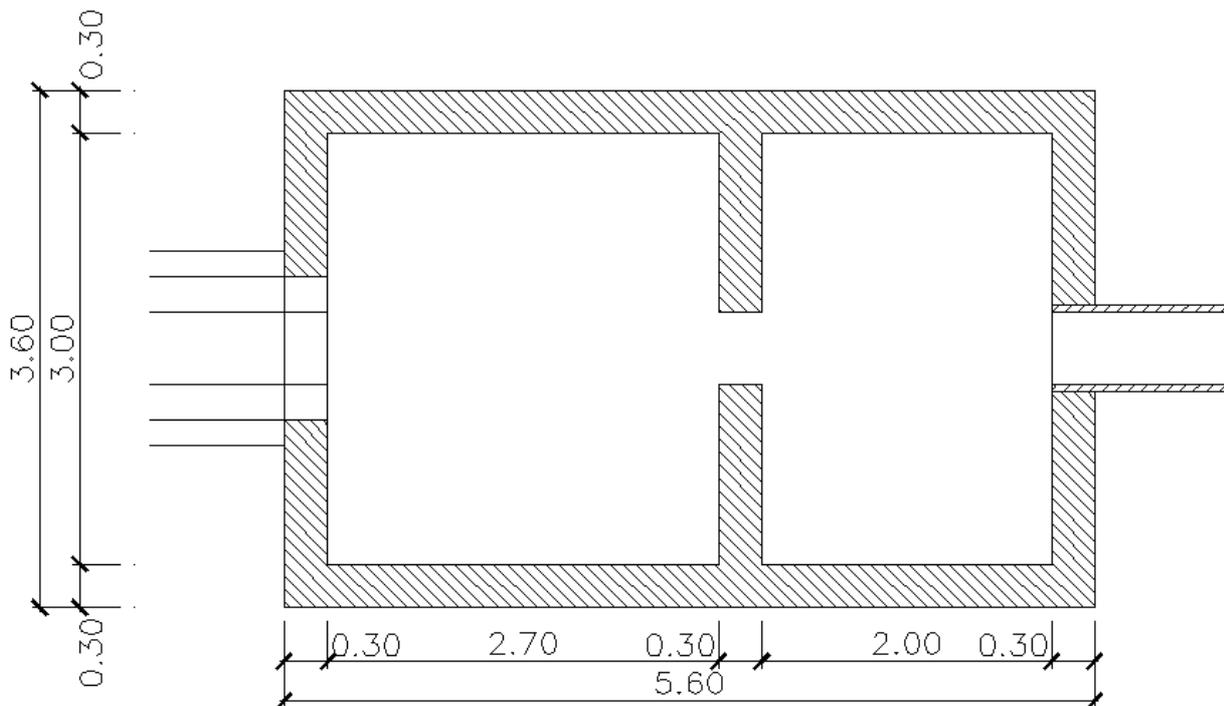
Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 295.44 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,60	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione orizzontale si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 20/m$.

5.2 MANUFATTO DI SCARICO IN OLONA

Di seguito si riporta la pianta di scarico in Olona, le verifiche verranno condotte sulla scatola di dimensioni 5.60 m in direzione x e 3.60 m lungo y.



5.2.1 Copertura in C.A.

La copertura del manufatto di scarico verrà realizzata in C.A. ed è costituita da una soletta poggiate sui muri perimetrali di spessore 0.4 m. Lo schema utilizzato è quello di piastra appoggiata sui lati soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati sono:

- peso proprio: 9.6 kN/m²;
- sisma in direzione verticale: 0.30 kN/m².

Per quanto riguarda la campata in direzione y:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	40	5	35	5	15	6,00	7,70	7,70	

Il massimo momento in mezzera è pari a $M = 10.42 \text{ kN m}$ da cui deriva:

σ_c [MPa]	0,77	Verificato
σ_s [MPa]	41,97	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza degli appoggi : 15.11 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,05	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione y si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 14/m$.

Per quanto riguarda la campata in direzione x:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	40	5	35	5	15	6,00	7,70	7,70	

Il massimo momento in mezzera è pari a $M = 6.89 \text{ kN m}$ da cui deriva:

σ_c [MPa]	0,51	Verificato
σ_s [MPa]	27,75	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza degli appoggi : 13.42 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,04	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione y si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 14/m$.

5.2.2 Parete in direzione y

Lo schema utilizzato è quello di piastra, spessore 0.3 m, appoggiata in corrispondenza di soletta e lati (3.18 m), incastrata alla base (3.6 m) soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati in direzione orizzontale sono:

- spinta attiva del terreno: 11.12 kN/m^2 ;
- spinta idrostatica: 31.8 kN/m^2 ;
- sisma in direzione orizzontale: 0.45 kN/m^2 .

Per quanto riguarda la campata in direzione y (incastrata alla base, appoggiata in sommità alla soletta):

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	30	5	25	5	15	4,50	7,70	7,70	

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 21.25 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	2,75	Verificato
σ_s [MPa]	121,66	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 52.86 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,23	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione verticale si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 14/m$.

Per quanto riguarda la campata in direzione x in doppio appoggio:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	$A_{s_{min}}$ [cm ²]	A_s [cm ²]	$A's$ [cm ²]	
100	30	5	25	5	15	4,50	5,66	5,66	

Il momento massimo in mezzeria è pari a 9.8 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	1,46	Verificato
σ_s [MPa]	75,27	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'appoggio : 21.57 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,10	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione orizzontale si prevedono dunque : $A_s = A's = 5\Phi 12/m$.

I carichi applicati in direzione verticale sono:

- peso proprio della parete: 22.89 kN m;
- reazione della soletta di copertura 26.88 kN m;
- sisma in direzione verticale: 0,72 kN m .

Con le armature ipotizzate anche la verifica a compressione risulta soddisfatta.

5.2.3 Parete in direzione x

Lo schema utilizzato è quello di piastra, spessore 0.3 m, appoggiata in corrispondenza di soletta e lati (3.18 m), incastrata alla base (5.60 m), soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati in direzione orizzontale sono:

- spinta attiva del terreno: 11.12 kN/m²;
- spinta idrostatica: 31.8 kN/m²;
- sisma in direzione orizzontale: 0.45 kN/m².

Per quanto riguarda la campata in direzione y (incastrata alla base, appoggiata in sommità alla soletta):

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione								
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]
100	30	5	25	5	15	4,50	7,70	7,70

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 27 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	3,49	Verificato
σ_s [MPa]	154,58	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 54.6 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,24	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione verticale si prevedono dunque : As = A's = 5 Φ 14/m.

Per quanto riguarda la campata in direzione x in doppio appoggio:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione								
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]
100	30	5	25	5	15	4,50	5,66	5,66

Il momento massimo in mezzera è pari a 11.54 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	1,72	Verificato
σ_s [MPa]	88,58	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'appoggio : 22.39 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,10	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione orizzontale si prevedono dunque : As = A's = 5 Φ 12/m.

I carichi applicati in direzione verticale sono:

- peso proprio della parete: 22.89 kN m;
- reazione della soletta di copertura 26.88 kN m;
- sisma in direzione verticale: 0,72 kN m .

Con le armature ipotizzate anche la verifica a compressione risulta soddisfatta.

5.2.4 Platea di fondazione

Lo schema utilizzato è quello di piastra, spessore 0.5 m, incastrata su tutti e quattro i lati (3.60 m e 5.60 m) soggetta a carico uniformemente distribuito agente ortogonalmente al piano medio.

I carichi applicati in direzione verticale sono:

- reazione del terreno dovuta al peso proprio del manufatto pieno di acqua, tenendo conto del getto di seconda fase (spessore 0.8 m) : 67.06 kN/m²;
- sottopressione idraulica, ipotizzando la falda a quota piano campagna: 31.8 kN/m²;

- sisma in direzione verticale: 1.02 kN/m².

Per quanto riguarda la campata in direzione y:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	50	5	45	5	15	7,50	12,72	12,72	

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 97.99 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	3,80	Verificato
σ_s [MPa]	186,73	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 187.69 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,46	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione verticale si prevedono dunque : As = A's = 5Φ18/m.

Per quanto riguarda la campata in direzione x:

Caratteristiche geometriche e inerziali della sezione									
b [cm]	h [cm]	d' [cm]	d [cm]	d" [cm]	n	As _{min} [cm ²]	As [cm ²]	A's [cm ²]	
100	50	5	45	5	15	7,50	12,72	12,72	

Il momento massimo in corrispondenza dell'incastro è pari a 79.55 kN m da cui deriva:

σ_c [MPa]	3,08	Verificato
σ_s [MPa]	151,59	Verificato

Il massimo taglio in corrispondenza dell'incastro : 176.19 kN da cui deriva:

τ_c [MPa]	0,44	Armatura minima
----------------	------	------------------------

In direzione orizzontale si prevedono dunque : As = A's = 5Φ18/m.

6. VERIFICHE GEOTECNICHE

6.1 VERIFICA DELLA CAPACITA' PORTANTE

La verifica viene effettuata considerando: condizioni di funzionamento a pieno regime (vasche piene) e contemporanea presenza del sisma.

Il terreno risulta interamente compresso, con tensioni pari a:

- $q_{t,max} = 1.332 \text{ kg/cm}^2$ nel caso del manufatto scolmatore;
- $q_{t,max} = 0.998 \text{ kg/cm}^2$ nel caso del manufatto di scarico.

La tensione ammissibile sul terreno è stata definita utilizzando la formula di Terzaghi, in mancanza di opportune indagini geotecniche in sito, ed è pari a 1.88 kg/cm^2 .

Pertanto essendo: $1.88/1.33 = 1.41 > 1.0$ e $1.88/0.998 = 1.9 > 1.0$ la verifica risulta soddisfatta.

6.2 VERIFICA AL GALEGGIAMENTO

La verifica viene effettuata considerando: il peso proprio delle strutture, la presenza del secondo getto in calcestruzzo non armato all'interno dei manufatti (ipotizzati vuoti a favore di sicurezza), il livello della falda in corrispondenza del piano campagna (per il manufatto scolmatore $H_t = 3,50\text{m}$, per il manufatto di scarico in Olona $H_t = 3,15\text{m}$).

Per il manufatto scolmatore i carichi applicati sono:

- Peso della struttura in C.A.: 170.12 t
- Peso del secondo getto in calcestruzzo non armato (spessore 0.8m): 55.96 t
- Sottospinta idraulica: $1 \text{ t/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 8.55 \text{ m} \times 4.60 \text{ m} = 137.6 \text{ t}$

Il fattore di sicurezza risulta pertanto pari a $1.64 > 1.5$, la verifica risulta quindi soddisfatta.

Per il manufatto di scarico in Olona i carichi applicati sono:

- Peso della struttura in C.A.: 85.28 t
- Peso del secondo getto in calcestruzzo non armato (spessore 0.8m): 26.4 t
- Sottospinta idraulica: $1 \text{ t/m}^3 \times 3.15 \text{ m} \times 5.60 \text{ m} \times 3.60 \text{ m} = 63.5 \text{ t}$

Il fattore di sicurezza risulta pertanto pari a $1.76 > 1.5$, la verifica risulta quindi soddisfatta.

7. DETTAGLI COSTRUTTIVI

7.1 ARAMTURA MINIMA

Come previsto dal D.M. 09/01/1966 per gli elementi inflessi è necessario introdurre, nella sezione tesa, una quantità minima di armatura longitudinale pari allo 0.15% dell'area della sezione in calcestruzzo.

7.2 COPRIFERRO E INTERFERRO

Al fine di garantire un'adeguata trasmissione della forza di aderenza, proteggere le armature dal fenomeno della corrosione e assicurare una sufficiente durabilità dell'opera, si assume un valore di copriferro minimo pari a 4.0 cm.

Le barre di armatura saranno mutuamente distanziate in ogni direzione di almeno una volta il diametro e comunque di almeno 2.0 cm.

7.3 ANCORAGGIO ALLE BARRE DI ARMATURA

Le barre di armatura devono essere prolungate oltre la sezione in cui sono sottoposte alla massima tensione di una quantità sufficiente a garantirne l'ancoraggio. Nell'ipotesi di ripartizione uniforme delle tensioni tangenziali di aderenza, la lunghezza di ancoraggio (per zone di buona aderenza) L_b è pari a:

$$L_b = \frac{\bar{\sigma}_s}{\tau_b} \frac{\phi}{4} = 26.6 \cdot \phi$$

con un minimo di 20 diametri o 15 cm.

Per ancoraggi in zone di mediocre aderenza dovranno essere considerate riduzione della tensione di aderenza fino al 50%.

7.4 DISPOSITIVI WATER-STOP

Si dovrà prevedere la posa di dispositivi water – stop costituiti da cordoni bentonitici 20 mm x 20 mm da disporsi lungo l'intero perimetro dei muri, così come indicato nelle tavole grafiche. Si ricorda la necessità di verificare in cantiere con le schede tecniche di prodotto il posizionamento dei water-stop in funzione del ricoprimento minimo richiesto di calcestruzzo.