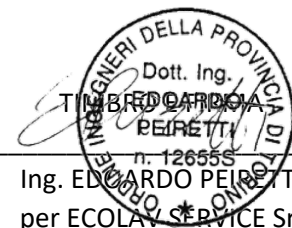


Impianto di depurazione di Canove di Govone

Realizzazione di un nuovo reparto di trattamento chimico-fisico dei rifiuti liquidi

Progetto definitivo

- Relazione di calcolo delle strutture -



The stamp is circular and contains the following text: "INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO" around the top edge, "Dott. Ing. EDOARDO PEIRETTI" in the center, and "n. 126555" at the bottom. There is a handwritten signature over the stamp.

Ing. EDOARDO PEIRETTI
per ECOLAV SERVICE Srl

Sommario

1	OGGETTO	3
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
3	COMBINAZIONE DELLE AZIONI	3
4	INFORMAZIONI SULL’ESISTENTE	4
5	VERIFICA ELEMENTI ESISTENTI	8
6	PARAMETRI DI VERIFICA NUOVE OPERE	11
6.1	VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSI D’USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	11
6.2	INQUADRAMENTO SISMICO DEL SITO.....	11
6.3	FATTORE DI COMPORTAMENTO.....	12
6.4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	12
6.5	Coefficienti per le verifiche a SLU.....	13
7	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	14
8	CRITERI DI CALCOLO PER LE VASCHE	15
8.1	Formule di calcolo per vasche a pianta rettangolare.....	15
8.2	Verifiche di resistenza.....	15
8.3	Fessurazione delle pareti.....	17
8.4	Effetti sismici.....	18
9	ANALISI DEI CARICHI	21
9.1	Permanenti.....	21
9.2	Variabili.....	21
9.2.1	Variabile neve (NTC2018):.....	21
9.2.2	Temperatura dell’aria esterna:.....	21
10	NUOVE OPERE IN C.A.	22
10.1	Parete trasversale 35 cm.....	23
10.2	Parete trasversale 30 cm.....	28
10.3	Parete trasversale pozzetti 30 cm.....	33
10.4	Parete trasversale rinforzata 20+20 cm.....	35
10.5	PLATEA DI FONDAZIONE.....	40
10.6	BASAMENTO DISSABBIATORE.....	41
11	NUOVE OPERE IN CARPENTERIA METALLICA	42
11.1	Strutture passerelle in grigliato.....	42
11.2	Scala dissabbiatore.....	44
11.3	Scale e passerelle varie.....	45

1 OGGETTO

La presente Relazione riporta i dati di progetto, le relative assunzioni, i calcoli e le verifiche condotte sugli elementi strutturali necessari per la conversione della vasca esistente di accumulo dell'acqua tecnica nel nuovo comparto di trattamento chimico-fisico dei rifiuti liquidi presso il depuratore di loc. Canove nel Comune di Govone (CN).

L'intervento prevede la realizzazione del nuovo basamento per un dissabbiatore prefabbricato e la realizzazione di muri all'interno della suddetta vasca esistente per ottenere reattori per i trattamenti del nuovo reparto.

Saranno inoltre realizzati manufatti minori in acciaio INOX per passerelle e scale di accesso manutentivo agli impianti del comparto. I grigliati calpestabili di scale e passerelle saranno realizzati in PRFV.

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D. M. INFRASTRUTTURE 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni";

Circ. M. INFRASTRUTTURE E TRASPORTI 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

3 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Si riportano i parametri che saranno utilizzati.

CARICHI	EFFETTO	Coeff. parz.	EQU	A1
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5

In condizioni sismiche i fattori sono i seguenti:

CARICHI	EFFETTO	Coeff. parz.	γ_F
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1,0
	Sfavorevole		1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	1,0
	Sfavorevole		1,0
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0
	Sfavorevole		1,0

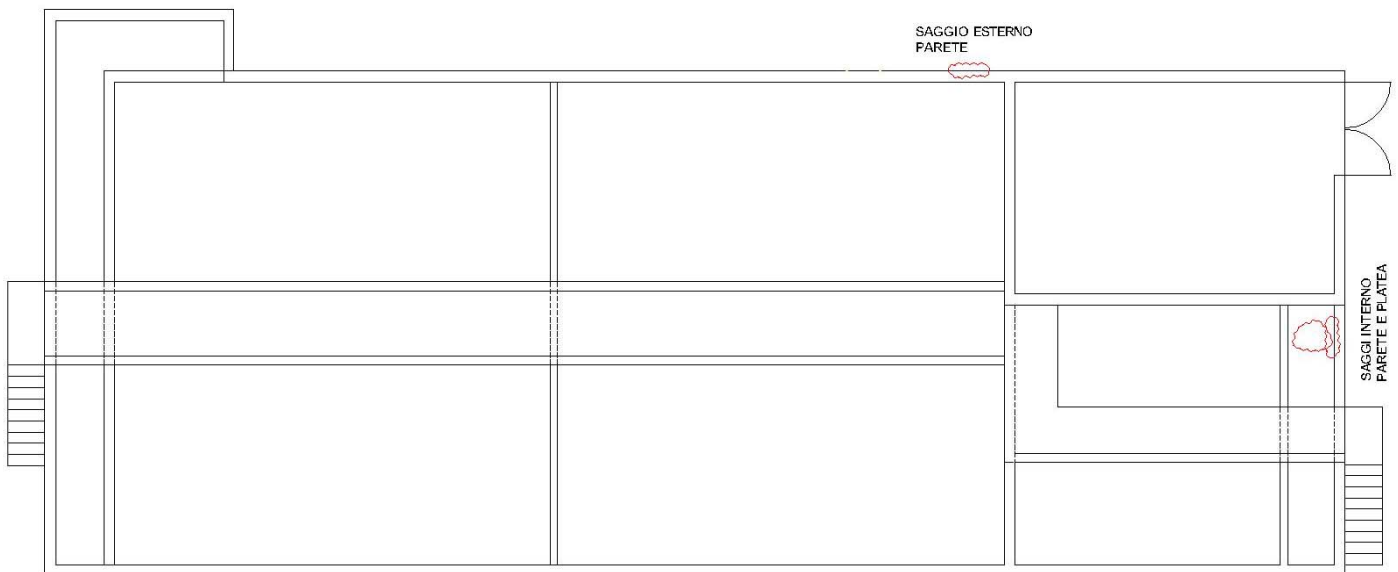
4 INFORMAZIONI SULL'ESISTENTE

Il comparto interessato dagli interventi in esame è in funzione e deve rimanere tale fino all'esecuzione dei lavori. Ciò premesso, le informazioni disponibili sono quelle fornite dal Committente e quelle ottenute durante i sopralluoghi sul posto.

Non è stato possibile reperire la documentazione di progetto.

Si sono potuti condurre solo pochi saggi per avere indicazioni dell'armatura nelle pareti perimetrali e nella platea. Lo spessore della platea viene assunto pari a 40 cm in quanto una perforazione con punta di lunghezza 400 mm non è uscita dal calcestruzzo.

Si riporta una piantina con la posizione qualitativa dei saggi.



I suddetti saggi hanno fornito le seguenti informazioni:

- saggio platea: armatura superiore a circa 9 cm dalla superficie, composta da rete $\phi 10/10/10$ e armatura lenta $\phi 16/15$ parallela al lato lungo della vasca e $\phi 14/15$ parallela al lato corto della vasca.



In assenza di informazioni sull'armatura inferiore della platea, si ipotizza che sia uguale alla sola rete rinvenuta superiormente $\phi 10/10/10$.

- saggio interno parete perimetrale: armatura interna con due strati, uno a circa 3 cm dalla superficie con rete $\phi 8/10/10$ e l'altro a circa 9 cm di profondità con armatura lenta verticale $\phi 16/15$, ma solo nella parte bassa della parete.



- saggio esterno parete perimetrale: armatura esterna a circa 3 cm dalla superficie con rete $\phi 8/10/10$.



5 VERIFICA ELEMENTI ESISTENTI

Si verifica preliminarmente l'adeguatezza dell'armatura trovata nei saggi su muro e fondazione.

▪ Parete vasca

Si considera uno schema di mensola incastrata alla fondazione con altezza del liquido 3.75 m.

$$M_v = 1.3 \times 1000 \times 3.75^3 / 6 = 12570 \text{ daN m}$$

Si considerano i materiali dell'epoca di costruzione (primi anni '90) con i relativi fattori di sicurezza:

calcestruzzo C25/30	$f_{cd} = 132 \text{ daN/cm}^2$
acciaio FeB44k	$f_{yd} = 3700 \text{ daN/cm}^2$

$B = 100 \text{ cm}$	$H = 30 \text{ cm}$	$h = 23 \text{ cm}$ (media fra i due strati)
$\mu = 0,180$	$\omega = 0,212$	$A_f = 17,4 \text{ cm}^2$

Considerando la rete $\phi 8/10/10$ con area 5 cm^2 e l'armatura lenta $\phi 16/15$ con area 13.3 cm^2 , si ha un totale di 18.3 cm^2 che risulta adeguato per il livello liquido ipotizzato.

Si effettua la verifica a fessurazione con le regole vigenti nel '96 per le Tensioni Ammissibili con la seguente sollecitazione:

$$M_v = 1000 \times 3.75^3 / 6 = 8790 \text{ daN m}$$

Ottenendo un'apertura delle fessure inferiore a 0.2 mm (valore normalmente accettato per manufatti contenenti liquidi), come si può vedere nella pagina che segue

VERIFICA A FESSURAZIONE tensioni ammissibili

flessione

Essendo:

B =	<input type="text" value="100"/>	cm		larghezza sezione
H =	<input type="text" value="30"/>	cm		altezza sezione
h _u =	<input type="text" value="23"/>	cm		altezza utile sezione
x =	<input type="text" value="8.5"/>	cm		distanza asse neutro bordo compresso (calcolato)
c =	<input type="text" value="3"/>	cm		ricoprimento armatura
s =	<input type="text" value="15"/>	cm		distanza tra i ferri (max 14 φ)
k ₁ =	<input type="text" value="0.4"/>			coeff.ferro (0.4 aderenza migliorata 0,8 barre lisce)
k ₂ =	<input type="text" value="0.125"/>			coeff. (0.125 fless. semplice 0.250 trazione pura)
φ =	<input type="text" value="1.33"/>	cm		diametro barre
A _s =	<input type="text" value="18.3"/>	cm ²		area armatura tesa
n =	<input type="text" value="1"/>			numero strati
d _{eff} =	<input type="text" value="c+7,5 f"/>	12.975	cm	> (h-x) / 2 7.27 cm
				condizione da rispettare nel caso di n=1

risulta:

A _{c,eff} =	<input type="text" value="727"/>	cm ²		area efficace di calcestruzzo entro la quale l'acciaio influenza l'apertura delle fessure
----------------------	----------------------------------	-----------------	--	---

$$s_{rm} = 2(c+s/10) + k_1 k_2 \phi A_{c,eff} / A_s = 11.64 \text{ cm}$$

distanza media fra le fessure in corrispondenza del baricentro della armatura all'interno dell'area efficace

ed essendo inoltre:

β ₁ =	<input type="text" value="1"/>			coeff. ferro (1.0 aderenza migliorata, 0.5 barre lisce)
β ₂ =	<input type="text" value="0.5"/>			coeff. (1.0 se prima applicazione o azione di breve durata, 0.5 se azioni cicliche o di lunga durata)
W _u =	<input type="text" value="15000"/>	cm ³		modulo resistente della sezione non fessurata
R _{ck} =	<input type="text" value="300"/>	kg/cm ²		classe del calcestruzzo
Ea =	<input type="text" value="2100000"/>	kg/cm ²		modulo elastico dell'acciaio
M _r = W _u * f _{cfm} =	<input type="text" value="467859"/>	kgcm		momento di fessurazione del calcestruzzo corrispondente al raggiungimento della resistenza a <u>trazione per flessione</u> sollecitazione agente
M =	<input type="text" value="879000"/>	kgcm		
σ _{sr} = M _r / (A _s *0.9*hu) =	<input type="text" value="1268"/>	kg/cm ²		tensione dell'acciaio relativa al momento di fessurazione
σ _s =	<input type="text" value="2382"/>	kg/cm ²		tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di carico considerata

si ricava l'allungamento medio dell'acciaio:

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / Ea (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2) = 0.00097$$

valore superiore al minimo:

$$\epsilon_{smin} = 0.4 * \sigma_s / Ea = 0.00045$$

Il valore medio di apertura della fessura vale:

$$w_m = s_{rm} * \epsilon_{sm} = 0.113 \text{ mm}$$

ed il valore caratteristico:

$$w_k = 1.7 * w_m = 0.193 \text{ mm} < \boxed{0.2} \text{ mm (valore ammissibile)}$$

▪ **Platea**

Si prende in esame la zona di vasca esistente che non viene interessata dai lavori di trasformazione, considerando una vasca con dimensioni nette 11.75 m x 13 m.

Vista la forma prossima al quadrato, si considera uno schema a piastra con sollecitazioni simili nelle due direzioni. Si confronterà l'armatura necessaria con l'armatura minima rinvenuta nel saggio.

La sollecitazione nella platea è dovuta al peso delle pareti ed ai carichi gravanti su di esse.

I carichi considerati sono i seguenti:

Peso delle pareti:	156000 daN
Peso della passerella c.a.	32000 daN
Carico variabile passerella c.a. (pedonale + neve)	7000 daN

Si considera un carico uniforme agente sull'impronta dei muri pari a

$$q = 195000 / (12.25 \times 13.6) = 1170 \text{ daN/m}^2$$

$$M_d = 1.3 \times 1170 \times 12^2 / 17 = 12880 \text{ daN m}$$

Si considerano i materiali dell'epoca con i relativi fattori di sicurezza:

calcestruzzo C25/30	$f_{cd} = 132 \text{ daN/cm}^2$
acciaio FeB44k	$f_{yd} = 3700 \text{ daN/cm}^2$

B = 100 cm	H = 40 cm	h = 31 cm
$\mu = 0,102$	$\omega = 0,112$	$A_f = 12,4 \text{ cm}^2$

Considerando la rete $\phi 10/10/10$ con area 7.8 cm^2 e l'armatura lenta $\phi 14/15$ con area 10.2 cm^2 , si ha un totale di 18 cm^2 che risulta adeguato.

Le armature rilevate risultano adeguate alla situazione esistente della vasca, con il livello liquido di 3.75 m.

I nuovi interventi non aumentano il livello liquido e non peggiorano la condizione delle strutture della vasca.

6 PARAMETRI DI VERIFICA NUOVE OPERE

Sulla base delle prescrizioni normative, si riportano di seguito i parametri di progetto che saranno utilizzati nelle successive fasi progettuali.

6.1 VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Il comune di Govone (CN) risulta localizzato in zona sismica zona 4, secondo l'ultima classificazione in vigore.

La costruzione è di tipo 2 (livelli di prestazione normali) e classe d'uso III (opere infrastrutturali rilevanti), pertanto i parametri considerati nel calcolo risultano:

Vita nominale $V_N = 50$ anni

Coefficiente d'uso $C_u = 1,5$

da cui si ricava il periodo di riferimento per l'azione sismica

$$V_R = V_N \cdot C_u = 75 \text{ anni.}$$

6.2 INQUADRAMENTO SISMICO DEL SITO

Coordinate geografiche del sito

- Coordinate Lat = 44,7755° Long = 8,1061°
- Classificazione suolo categoria B
- Classificazione topografica categoria T1

Per la zona sopra elencata i parametri sismici del sito (SLV) sono

$a_g = 0,0486$ g accelerazione orizzontale massima
 $F_0 = 2,753$ fattore di amplificazione dello spettro
 $T_C^* = 0,300$ s periodo di inizio del tratto a velocità costante

Per la zona sopra elencata i parametri sismici del sito (SLD) sono

$a_g = 0,0261$ g accelerazione orizzontale massima
 $F_0 = 2,663$ fattore di amplificazione dello spettro
 $T_C^* = 0,193$ s periodo di inizio del tratto a velocità costante

Per la zona sopra elencata i parametri sismici del sito (SLO) sono

$a_g = 0,0214$ g accelerazione orizzontale massima
 $F_0 = 2,612$ fattore di amplificazione dello spettro
 $T_C^* = 0,184$ s periodo di inizio del tratto a velocità costante

6.3 FATTORE DI COMPORTAMENTO

– Strutture con comportamento Non Dissipativo $q_{ND} = 1,5$

Strutture a pareti $q_0 = 3,0$

Struttura regolare in altezza $K_R = 1$

$$q_{ND} = 2/3 K_R q_0 \leq 1,5$$

Le strutture con comportamento non dissipativo sono dimensionate e verificate in accordo con quanto riportato nel Capitolo 4 della Normativa.

6.4 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base dei sondaggi geognostici svolti nel febbraio 2022 e descritti nella relazione del Dott. Geol. Michele ACTIS GIORGETTO si ha la seguente stratigrafia (i sondaggi sono stati condotti dal fondo scavo, a circa 5.3 m dal pc):

- **stratigrafia**

– da pc m fino a 7.5 m : sabbia e ghiaia medio grossolana e ciottoli

$$c' = 0 \text{ kN/m}^2 \quad \varphi' = 36^\circ \quad \gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

– oltre i 7.5 m : limi argillo-marnosi

$$c' = 20 \text{ kN/m}^2 \quad \varphi' = 30^\circ \quad \gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad c_u = 250 \text{ kN/m}^2$$

La falda è assunta a 3 m dal piano campagna, pertanto non interferisce con le opere in progetto.

• **parametri di progetto assunti**

Considerato che la condizione drenata risulta più gravosa, si utilizza uno schema con unico strato con le seguenti caratteristiche medie

$$\varphi' = 32^\circ \quad \gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad c' = 0 \text{ kN/m}^2$$

Le verifiche sono effettuate secondo l'approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), con i parametri geotecnici desunti dai valori di progetto delle caratteristiche del terreno di seguito riportati.

Peso dell'unità di volume di progetto (M1)	$\gamma_d = 1900 \text{ daN/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio di progetto (M1)	$\phi_d = 32^\circ$
Coesione di progetto (M1)	$c_d = 0 \text{ daN/cm}^2$
Coeff. di spinta attiva di progetto (M1)	$k_a = 0,307$
Coeff. di spinta a riposo (M1)	$k_0 = 0,47$
Muri che non possono spostarsi e ruotare	
Coeff. di spinta attiva sismica di progetto (M1)	$k_{as} = 0,342$
Incremento sismico coeff. di spinta	$\Delta k_{as} = 0,035$

6.5 Coefficienti per le verifiche a SLU

Per le verifiche a SLU sono prescritti specifici fattori di sicurezza parziali. Si riportano i parametri che saranno utilizzati.

- *muri di sostegno:*

VERIFICA	R3
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$

- *opere di fondazione:*

VERIFICA	R3
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

7 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Acciai per armatura di conglomerati:

- Armatura lenta: B 450 C

$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ tensione caratteristica di snervamento

$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ tensione caratteristica di rottura

$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ snervamento di progetto

In merito a quanto disposto nel punto 11.3.2.1. *Acciaio per calcestruzzo armato B 450 C* del D.M. 17/01/2018 sugli acciai impiegati in progetto si dichiarano i seguenti limiti dei rapporti:

$$(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1,25 \qquad 1,15 \leq (f_t / f_y)_k < 1,35$$

dove:

f_y = singolo valore di snervamento

$f_{y,nom}$ = valore nominale di riferimento

f_t = singolo valore della tensione di rottura.

Conglomerato cementizio:

Si seguono le indicazioni della UNI 11104 “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”.

I requisiti richiesti per le strutture del depuratore sono:

- resistenza a compressione richiesta:

C28/35 ($R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$) $f_{cd} = 16,46 \text{ N/mm}^2$

- classe di esposizione ambientale XC2 e XA1
- classe di consistenza S4
- dimensione massima inerti: 25 mm
- copriferro minimo: 40 mm

Carpenteria metallica e Inserti metallici:

Per i lavori dovranno essere impiegati esclusivamente prodotti in acciaio conformi al D.M. 17/01/2018.

Acciaio inox AISI 304

$$f_{yd} = 230 / 1.1 = 209 \text{ N/mm}^2$$

Viti, dadi e rondelle in acciaio inox A2 cl.70

$$f_{yd} = 450 / 1.125 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Si prevede l’esecuzione di tutte le lavorazioni in conformità con quanto disposto dal D.M. 17/01/2018 e dalle norme in esso richiamate.

Non sono ammessi fori e tagli con mezzi termici.

8 CRITERI DI CALCOLO PER LE VASCHE

Le strutture sono dimensionate per poter resistere alle condizioni di carico più gravose, risultanti cioè dalla più sfavorevole combinazione dei seguenti carichi agenti:

- peso proprio;
- carico statico e dinamico delle apparecchiature elettromeccaniche;
- spinte dei liquidi contenuti;
- spinte dovute all'eventuale presenza della falda.

In particolare, le pareti interne vengono dimensionate per poter resistere alla spinta del liquido (ipotizzando che dall'altro lato non vi sia liquido), assumendo per i liquami un peso specifico:

$$\gamma_{liq} = 1100 \text{ daN/m}^3$$

sicuramente appropriato data la funzione delle vasche oggetto di calcolo.

8.1 Formule di calcolo per vasche a pianta rettangolare

Le pareti rettangolari costituenti le vasche vengono considerate (agli effetti del calcolo) come mensole incastrate alla base se il rapporto fra la dimensione in pianta e l'altezza della parete è superiore a 3, oppure come lastre incastrate su 3 lati se detto rapporto è inferiore a 3.

Nel primo caso, il calcolo della sollecitazione flettente dovuta all'effetto del carico idrostatico presente è immediato, essendo il momento longitudinale dato da:

$$M = \gamma_{liq} \cdot h_{liq}^3 / 6$$

In tale situazione, la funzione principale è assegnata all'armatura verticale, mentre quella trasversale svolge una funzione di ripartizione e antiritiro, ad eccezione che in prossimità degli spigoli dove è necessario "legare" le due pareti mutuamente ortogonali.

Nel caso invece di comportamento a lastra, occorre considerare sia i momenti verticali sia quelli orizzontali, essendo il contributo di entrambi, variabile in funzione delle dimensioni geometriche, ugualmente importante ai fini del dimensionamento delle armature. In tale situazione, le sollecitazioni vengono determinate mediante programma di calcolo presente su elaboratore, individuando l'origine degli assi x, z nel punto medio inferiore della parete.

8.2 Verifiche di resistenza

Le verifiche di resistenza vengono effettuate secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Per tenere conto delle incertezze sui dati disponibili il metodo semiprobabilistico comporta l'assunzione di valori caratteristici sia per l'entità delle azioni, sia per le resistenze dei materiali; tali valori caratteristici vengono poi trasformati in valori di calcolo mediante l'applicazione di opportuni coefficienti.

In particolare, l'entità delle azioni variabili si determina maggiorandole con il fattore 1,5.

Nel caso delle vasche, essendo costante l'effetto del liquido contenuto e sempre presente l'effetto del terreno circostante, in base al 2.5.1.3 delle NTC si considerano azioni permanenti G_1 e si applica il coefficiente 1,3.

Per quanto riguarda le resistenze di calcolo dei materiali, si applica la formula:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

dove f_k è la resistenza caratteristica del materiale considerato e γ_m è un coefficiente riduttivo che vale:

- 1,5 per il calcestruzzo
- 1,15 per acciaio di armatura
- 1,05 per l'acciaio da carpenteria metallica

In particolare, la resistenza di calcolo del calcestruzzo risulta:

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$$

$$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{ctm} = 0,30 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$$

per $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ si ha $f_{cd} = 16,46 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctd} = 1,32 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 3,4 \text{ N/mm}^2$

La resistenza di calcolo dell'acciaio B 450 C risulta:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1,15 = 391 \text{ N/mm}^2$$

Nelle verifiche che seguiranno il valore f_{yd} verrà ulteriormente differenziato, al fine di ottenere percentuali di armatura sufficienti non solo per la verifica a rottura ma anche per quella a fessurazione.

Si considererà:

- $f_{yd} = 330 \text{ N/mm}^2$ per elementi verificati a flessione in presenza di liquido
- $f_{yd} = 390 \text{ N/mm}^2$ per elementi verificati a flessione non a contatto col liquido
- $\sigma_a = 140 \text{ N/mm}^2$ per elementi verificati a trazione semplice in presenza di liquido.

8.3 Fessurazione delle pareti

Non è possibile evitare totalmente l'apertura di fessure in strutture in calcestruzzo armato, se non con precompressione, a seconda dei casi, bi- o tri-assiale. E' invece possibile limitarne l'apertura teorica entro limiti prefissati, con una disposizione appropriata dei ferri di armatura. Nei casi usuali è sufficiente limitare l'apertura al disotto degli 0,2 mm per evitare la filtrazione dell'acqua attraverso la parete.

L'apertura caratteristica di fessure in strutture in calcestruzzo armato si può valutare con l'espressione:

$$w_k = e_{sm} \cdot D_{s,max}$$

nella quale:

a) $D_{s,max}$ = distanza massima (in mm) fra le fessure è uguale a :

$$D_{s,max} = k_3 c + k_t k_2 k_4 \phi / r_{eff}$$

dove:

c = ricoprimento delle armature

k_t = parametro che caratterizza la qualità di aderenza dell'acciaio (0,8 per barre ad aderenza migliorata e 1,6 per barre lisce)

k_2 = coefficiente che rappresenta l'influenza della forma del diagramma delle tensioni (0,5 in presenza di flessione, 1 nel caso di trazione pura)

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

ϕ = diametro delle barre

r_{eff} = rapporto $A_s / A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$ = area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura di altezza $h_{c,eff}$

$h_{c,eff} = \min[2,5(h-d); (h-x)/3; h/2]$

b) e_{sm} = deformazione unitaria media delle barre d'armatura è uguale a :

$$e_{sm} = (s_s - k_t f_{ctm} (1 + a_e r_{eff}) / r_{eff}) / E_s \geq 0,6 s_s / E_s$$

dove:

σ_s = tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata

a_e = rapporto E_s / E_{cm}

k_t = fattore che dipende dalla durata del carico (pari a 0,6 per un carico di breve durata, pari a 0,4 per carichi di lunga durata)

r_{eff} = rapporto $A_s / A_{c,eff}$

$E_s = 2.100.000 \text{ daN/cm}^2$ modulo elastico acciaio

Il valore w_k così determinato è il valore caratteristico di confronto che deve risultare inferiore a 0,2 mm.

8.4 Effetti sismici

Occorre applicare la classificazione sismica dell'area di intervento ed utilizzare i parametri di progetto ricavati nei precedenti capitoli, secondo la normativa vigente (DM 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni").

MURI DI SOSTEGNO

Particolare rilievo assume l'effetto sismico per i muri di sostegno, che vanno dimensionati e calcolati tenendo conto, oltre che della spinta statica F , di:

- incremento di spinta $\Delta F = F_{\text{sisma}} - F$ applicato a 2/3 dell'altezza del muro;
- forza d'inerzia orizzontale $F_i = C W$

con F_{sisma} = spinta statica calcolata in condizioni sismiche

W = peso proprio del muro e del terreno sovrastante la fondazione

VASCHE CILINDRICHE O RETTANGOLARI

Per quanto concerne le vasche, la verifica sismica viene condotta considerando interamente presente il liquido in esse contenuto. Per tali strutture, il comportamento antisismico è positivo per l'effetto del mutuo contenimento fra le pareti ortogonali.

Esaminando il comportamento sismico di tali strutture, si possono fare le seguenti considerazioni:

- a) La lunghezza d'onda associata al generico periodo T di vibrazione dell'acqua in un bacino vale:

$$S = c T$$

con c = velocità del suono nel liquido indefinito.

Nel caso dell'acqua, avendo a che fare con fenomeni che interessano periodi superiori a 0,1 secondi (caso dei terremoti) si trova

$$S_{\text{min}} = 144 \text{ m}$$

Su corpi di dimensioni molto inferiori a S_{min} l'effetto della compressibilità dell'acqua è trascurabile.

In questa ipotesi, la pressione idrodinamica (supponendo un moto del terreno di tipo sinusoidale) ha un andamento compreso tra un arco di cerchio ed una parabola, che complessivamente conduce ad una spinta idrodinamica

$$S_d = 0,543 \frac{a}{g} \gamma H^2$$

quasi pari alla spinta statica $S_s = 0,5 \gamma H^2$ moltiplicata per l'accelerazione massima riferita a quella di gravità, ed applicata a 0,401 H dal fondo (anziché 0,333 H come la S_s). Il valore di a/g è pari a:

$$\frac{a}{g} = C R = C \cdot \frac{0,862}{T_1^{2/3}}$$

b) Altezza delle onde di superficie per vasche rettangolari

Occorre inoltre considerare l'effetto delle onde di superficie, in quanto il liquido contenuto si trova a pelo libero.

La massa M del liquido contenuto risulta, ai fini del moto, equivalente ad una massa M_0 rigidamente collegata al serbatoio più una massa M_1 connessa al serbatoio attraverso molle di costante elastica k . Tali masse equivalenti, per serbatoio rettangolare, valgono:

$$M_0 = \frac{\tanh(1,7 L/H)}{1,7 L/H} \cdot M$$

$$M_1 = \frac{0,83 \cdot \tanh(1,6 H/L)}{1,6 H/L} \cdot M$$

dove:

L = metà lato maggiore vasca

H = altezza liquido

Il periodo di vibrazione fondamentale del liquido vale approssimativamente, essendo $H/L < 0,7$:

$$T_1 = 1,25 \frac{L}{\sqrt{H}}$$

La costante elastica vale:

$$K = \frac{3 g M_1^2 H}{M L^2}$$

Il massimo spostamento x orizzontale, calcolato per la massa M_1 nel sistema con le masse equivalenti, vale:

$$x = 3 \cdot \frac{c g 0,862}{4\pi^2} T^{4/3}$$

L'altezza delle onde di superficie si può ottenere moltiplicando lo spostamento x ottenuto per il fattore:

$$\mu = \frac{0,84 K L / M_1 g}{1 - (x/L)(K L / M_1 g)^2}$$

- Considerando ad esempio un settore della vasca esistente si ottiene:

$$L = 6,5 \text{ m} \quad (\text{met\`a lato vasca maggiore})$$

$$H = 3,75 \text{ m} \quad (\text{altezza liquido})$$

$$M = 13,0 \times 3,75 \times 1,10 = 53,6 \text{ t}$$

e quindi: $M_0 = 0,3375 \cdot M = 18,1 \text{ t}$

$$M_1 = 0,6540 \cdot M = 35,1 \text{ t}$$

Si ricava poi: $T_1 = 4,8 \text{ s}$ periodo vibrazione

$$K = 29,9 \quad \text{costante elastica}$$

$$x = 0,14 \text{ m}$$

$$\mu = 0,95$$

e quindi l'innalzamento del pelo liquido, vale:

$$h = 0,95 \times 0,14 = 0,13 \text{ m} \quad (\text{inferiore al franco previsto}).$$

- In sintesi, la verifica delle pareti in condizione sismica viene effettuata considerando i seguenti incrementi di sollecitazione:

1° caso – effetti del liquido sul lato interno della vasca:

- l'incremento h del liquido dell'acqua rispetto al livello normale del profilo idraulico e l'effetto delle sollecitazioni dovute alla spinta idrodinamica S_d applicata a $0,4 H$ vengono considerati calcolando la sollecitazione dovuta ad un maggior livello liquido di circa $0,4 \text{ m}$ (valore cautelativo);
- si aggiungono le sollecitazioni dovute alla forza di inerzia orizzontale $F_i = S_d W$ applicata nel baricentro, con W peso proprio del muro.

Le sollecitazioni di tipo sismico vengono verificate considerando $f_{yd} = 390 \text{ N/mm}^2$ (sollecitazioni rare, con effetto istantaneo).

9 ANALISI DEI CARICHI

9.1 Permanenti

Peso proprio delle strutture in calcestruzzo	2500 daN/m ³
Peso proprio elementi metallici	7850 daN/m ³
Peso rifiuti liquidi da trattare	1100 daN/m ³
Peso dissabbiatore vuoto	1587 daN
Peso dissabbiatore pieno	10755 daN
Peso mixer (più pesante)	76 daN
Peso passerelle in grigliato	50 daN/m ²

9.2 Variabili

- Variabile pedonale passerelle e scale manutentive	200 daN/m ²
---	------------------------

9.2.1 Variabile neve (NTC2018):

Zona Neve = I Alpina

Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni

$C_{tr} = 1$ per $T_r = 50$ anni

C_e (coeff. di esposizione al vento) = 1.00

Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} C_e C_{tr} = 163$ daN/m²

Copertura a due falde:

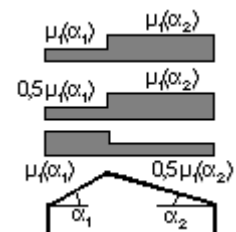
Angolo di inclinazione della falda $\alpha_1 = 26.0^\circ$

$\mu_1(\alpha_1) = 0.80 \Rightarrow Q_1 = 130$ daN/m²

Angolo di inclinazione della falda $\alpha_2 = 26.0^\circ$

$\mu_1(\alpha_2) = 0.80 \Rightarrow Q_2 = 130$ daN/m²

Schema di carico:



9.2.2 Temperatura dell'aria esterna:

Zona: I

$T_{min} = -16.20^\circ$ [NTC 3.5.1]

$T_{max} = 40.19^\circ$ [NTC 3.5.2]

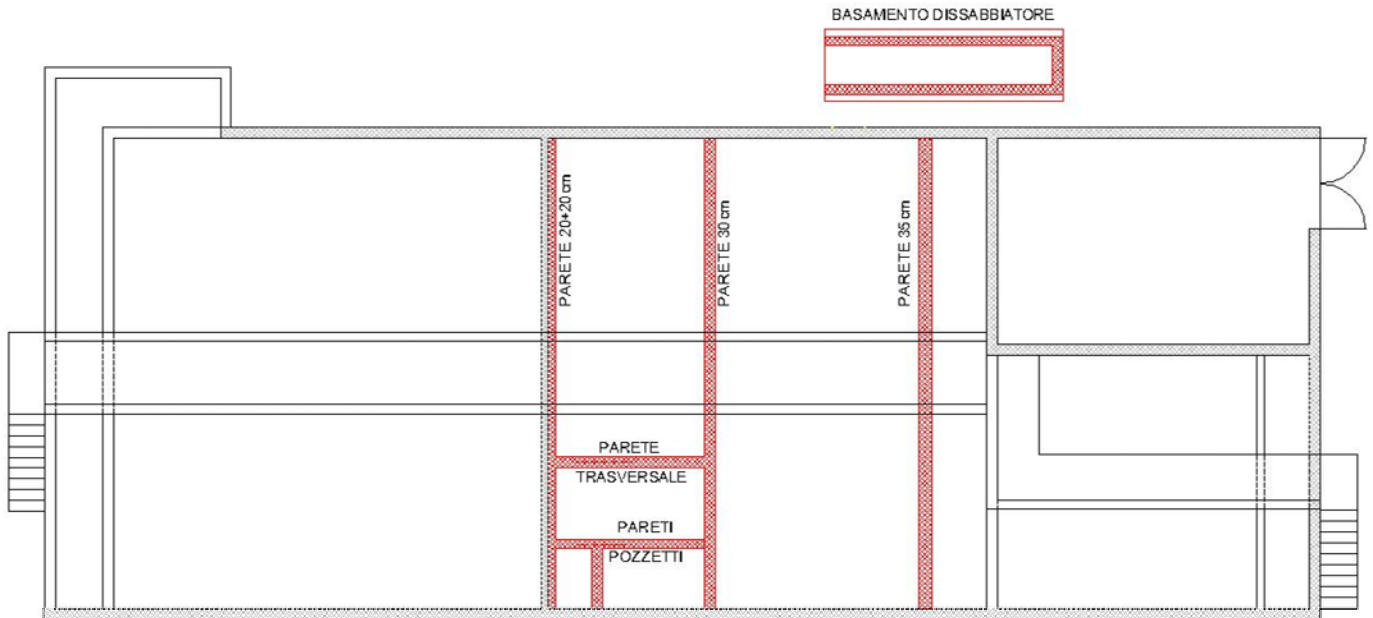
Nel caso in esame, le opere da realizzare ricadono nell'ambito di applicazione del punto 3.5.5 NTC 2018 per il quale "...se la temperatura non costituisca azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura è consentito tener conto della sola componente ΔT_u , ricavandola direttamente dalla Tab. 3.5.II.... "

Tab. 3.5.II – Valori di ΔT_u per gli edifici

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15^\circ\text{C}$

10 NUOVE OPERE IN C.A.

Nella vasca esistente vengono costruite nuove pareti per ricavare pozzetti e vasche con varie funzioni nel ciclo di trattamento chimico-fisico dei rifiuti liquidi. Si realizza inoltre un basamento per un dissabbiatore prefabbricato in vasca metallica.



A causa della scarsità di informazioni sulle armature reali nelle pareti e nella platea della vasca esistente e per non aggravare lo stato di sollecitazione delle strutture esistenti, si prevede di non incastrare le nuove pareti in queste ultime ma di collegarle con una fila di spinotti posizionati nei pressi della mezzeria delle nuove pareti, sia sulla platea sia sulle pareti di bordo.

La parete esistente di spessore minore, circa 20 cm, originariamente utilizzata come semplice deflettore e poi trasformata in parete di separazione con la chiusura delle aperture presenti al piede, deve essere rinforzata per consentirle di svolgere in sicurezza il suo compito di separazione fra vasche adiacenti alternativamente piene o vuote.

Non potendo svolgere saggi su questa parete interna, a causa dell'impossibilità di porre fuori servizio la vasca, si suppone che sia armata con una rete $\phi 8/10/10$ su entrambe le sue facce.

In considerazione del fatto che le nuove pareti trasversali nella vasca esistente hanno geometrie tali da avere un comportamento a piastra, si fanno alcune schematizzazioni agli elementi finiti delle singole pareti, con vincoli di semplice appoggio sul perimetro.

10.1 Parete trasversale 35 cm

La nuova parete è spessa 35 cm, alta 4,5 m e lunga 13 m, senza alcuna parete ortogonale intermedia; l'altezza del liquido è di 3,75 m e può essere presente in ciascuno dei due lati, in modo indipendente.

Si determinano le sollecitazioni nella nuova parete schematizzata come piastra appoggiata alle pareti longitudinali ed al fondo, sollecitata dalla spinta idrostatica e sismica del liquido, oltre all'inerzia della parete.

Tipo carico di pressione variabile su piastra

Id	Tipo	pressione	quota	pressione	quota
		daN/cm ²	cm	daN/cm ²	cm
1	spinta acqua 4125 daN/m ² -PL3:pi=0.0 qi=375.00 pf=0.41 qf=0.0	0.0	375.00	0.41	0.0

Tipo carico variabile generale

Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
		cm	daN/cm ²	cm	daN/cm ²
2	carico sovraspinta liquido 100 / 600 daN/mq-QV:var z - Qy - Area				
	Z - Z Qy Area L2=0.0	0.0	0.06	375.00	0.01
3	carico inerzia parete 100 daN/mq-QV:var z - Qy - Area				
	Z - Z Qy Area L2=0.0	0.0	0.01	450.00	0.01

I casi di carico considerati sono i seguenti

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Gk	CDC=G1k (permanente generico) liquido statico
2	Etk	CDC=Etk (inc. sp. liquido) SLV dir + alfa=90.00
3	Etk	CDC=Etk (inc. sp. inerzia) SLV dir + alfa=90.00

Le combinazioni considerate sono le seguenti

Cmb	Tipo	Sigla Id	CDC 1	CDC 2	CDC 3
1	SLU	Combinazione 1 SLU	1.30	0.0	0.0
2	SLE(r)	Combinazione 2 SLE	1.00	0.0	0.0
3	SLU	Combinazione 3 SLU (SLV)	1.00	1.00	1.00

Condizioni statiche:

Sulla base della schematizzazione della parete agli elementi finiti, i cui risultati sono riportati di seguito, si ricava:

$$M_{dV} \approx M_{dO} = 9700 \text{ daN m}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 35 \text{ cm}$$

$$d = 30 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,065$$

$$\omega = 0,070$$

$$A_s = 10,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Condizioni sismiche:

$$M_{dV} = 9400 \text{ daN m}$$

$$M_{dV} = 9700 \text{ daN m}$$

Pertanto la condizione statica risulta più gravosa, tenendo conto del tasso di lavoro inferiore che viene utilizzato per contenere la fessurazione.

Considerando anche la limitazione delle fessure, si predispongono 1+1 \emptyset 20/20 sia verticali sia orizzontali.

Il collegamento alle pareti avviene con dei connettori che lavorano principalmente a taglio.

Le sollecitazioni massime desunte dalle reazioni nel modello agli elementi finiti sono:

- Taglio sul fondo: 10000 daN/m
- Taglio sulle pareti: 12000 daN/m

Predisponendo degli spinotti \emptyset 20/20 sia sul fondo sia sulle pareti si hanno le seguenti resistenze:

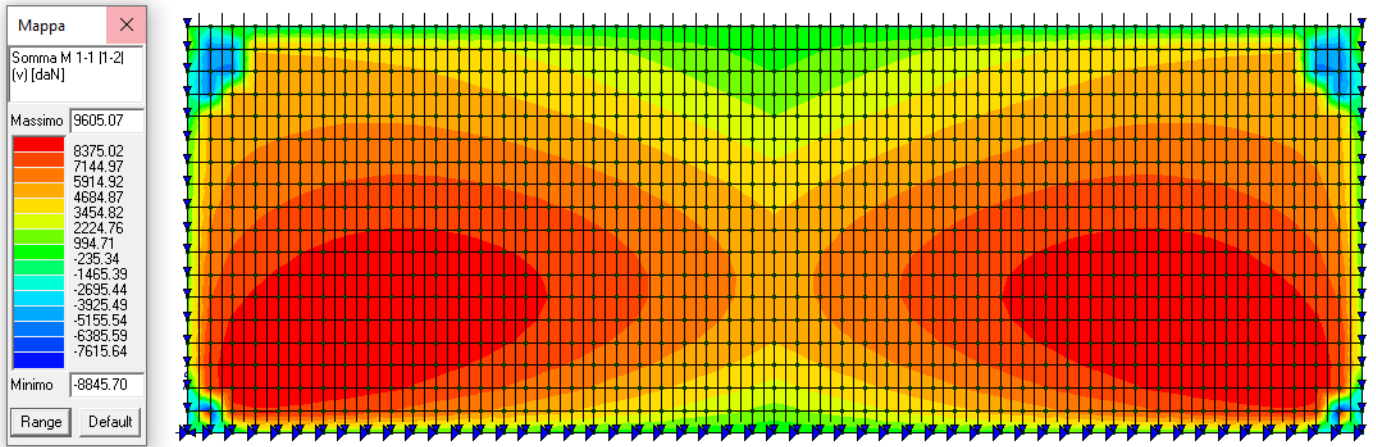
Lato acciaio $V_{Rd} = 5 \times 3/4 \times 3.14 \times 3900 / 3^{0.5} = 26500 \text{ daN/m} > V_{Sd}$

Lato calcestruzzo $V_{Rd} = 5 \times 1.2 \times 2^2 \times (3900 \times 132)^{0.5} = 17200 \text{ daN/m} > V_{Sd}$

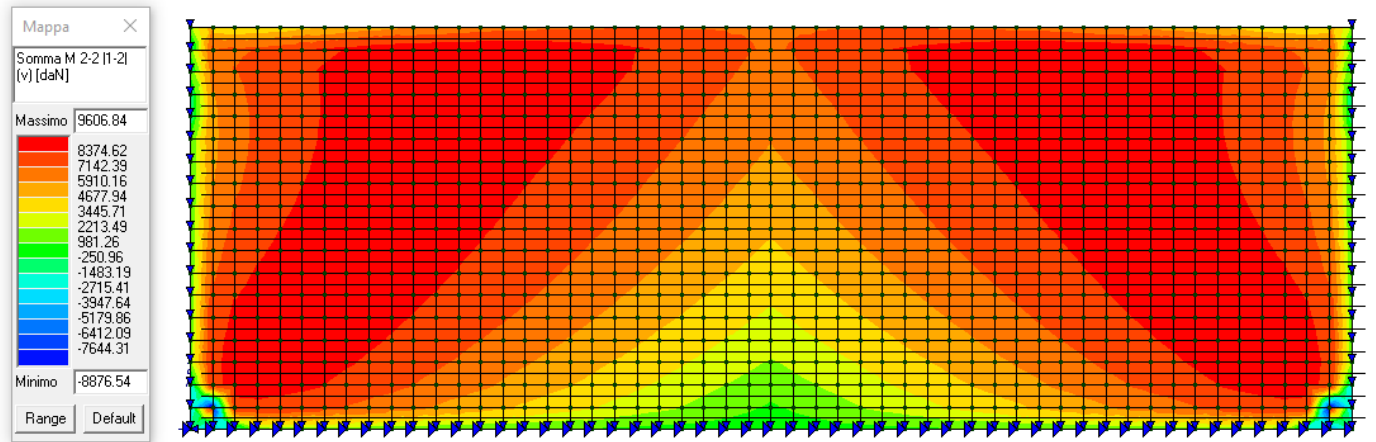
Per l'acciaio si è considerato $f_{yd} = 3900 \text{ daN/cm}^2$ e per il calcestruzzo esistente $f_{cd} = 132 \text{ daN/cm}^2$

Risultati della schematizzazione agli elementi finiti:

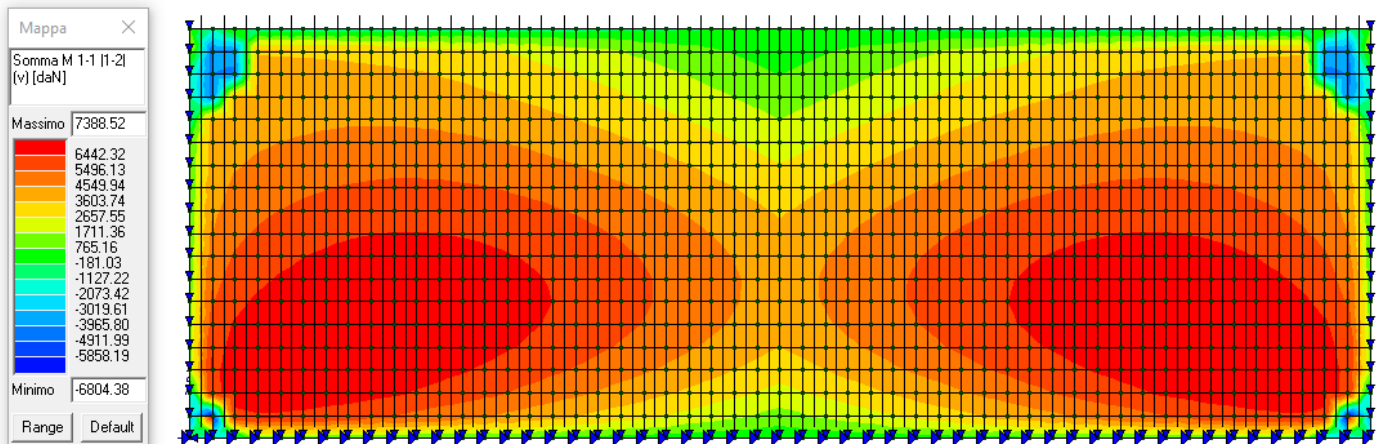
Momenti nel piano verticale a SLU (M + tira le fibre opposte al liquido)



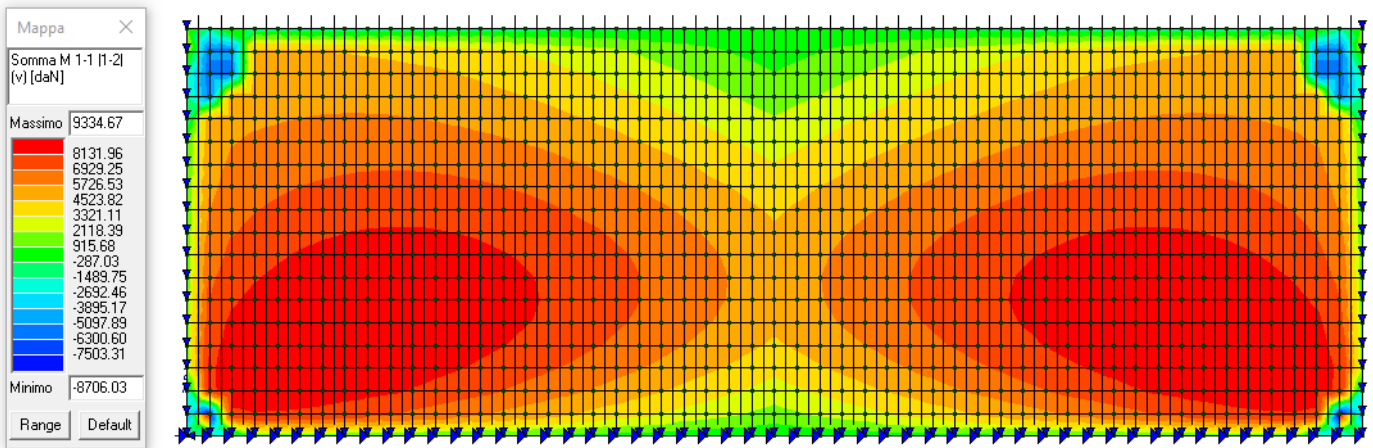
Momenti nel piano orizzontale a SLU (M + tira le fibre opposte al liquido)



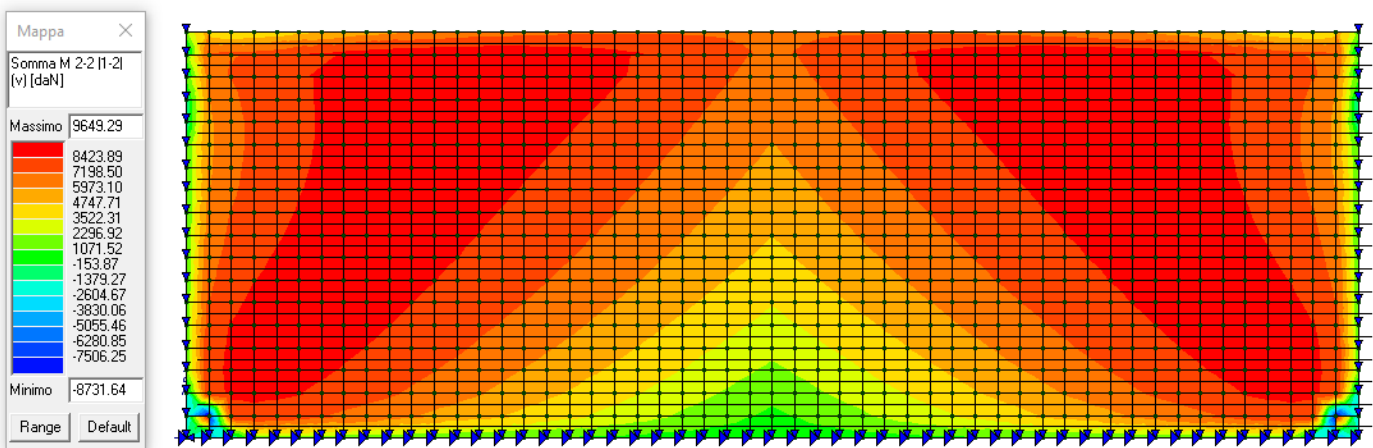
Momenti nel piano verticale a SLE (M + tira le fibre opposte al liquido)



Momenti nel piano verticale a SLV (M + tira le fibre opposte al liquido)



Momenti nel piano orizzontale a SLV (M + tira le fibre opposte al liquido)



Di seguito si riporta la verifica a fessurazione della parete spessa 35 cm, armata con $1\phi 20/20$ e sollecitata da 3.75 m d'acqua; dal calcolo allo SLE della piastra si ricava la sollecitazione massima $M = 7400$ daN m.

VERIFICA A FESSURAZIONE PARETE

La verifica a fessurazione, condotta con il metodo descritto nella circolare del 2019, conferma la limitazione delle fessure.

VERIFICA A FESSURAZIONE DM 2018

flessione - parete 35 cm

Essendo:

B =	<input type="text" value="100"/>	cm	larghezza sezione
h =	<input type="text" value="35"/>	cm	altezza sezione
d =	<input type="text" value="30"/>	cm	altezza utile sezione
x =	<input type="text" value="8.8"/>	cm	distanza asse neutro bordo compresso (calcolato)
c =	<input type="text" value="3.5"/>	cm	ricoprimento armatura
s =	<input type="text" value="20"/>	cm	distanza tra i ferri
k ₁ =	<input type="text" value="0.8"/>		coeff.ferro (0.8 aderenza migliorata 1,6 barre lisce)
k ₂ =	<input type="text" value="0.5"/>		coeff. (0.5 fless. semplice 1.0 trazione pura)
k ₃ =	<input type="text" value="3.4"/>		
k ₄ =	<input type="text" value="0.425"/>		
φ =	<input type="text" value="2"/>	cm	diametro barre / diametro equivalente
A _s =	<input type="text" value="15"/>	cm ²	area armatura tesa
h _{c,eff} =	<input type="text" value="8.7"/>	cm	altezza efficace del calcestruzzo

risulta:

A _{c,eff} =	<input type="text" value="872"/>	cm ²	area efficace di calcestruzzo entro la quale l'acciaio influenza l'apertura delle fessure
----------------------	----------------------------------	-----------------	---

$$\Delta_{sm} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi A_{c,eff} / A_s / 1,7 = 18.63 \text{ cm}$$

distanza massima fra le fessure in corrispondenza del baricentro della armatura all'interno dell'area efficace

ed essendo inoltre:

k _t =	<input type="text" value="0.4"/>		coeff. (0,6 se azione di breve 0,4 lunga durata)
R _{ck} =	<input type="text" value="350"/>	daN/cm ²	classe del calcestruzzo
E _{cm} =	<input type="text" value="325881"/>	daN/cm ²	modulo elastico istantaneo del calcestruzzo
f _{ctm} =	<input type="text" value="28"/>	daN/cm ²	resistenza media a trazione semplice del calcestruzzo
E _s =	<input type="text" value="2100000"/>	daN/cm ²	modulo elastico dell'acciaio
M =	<input type="text" value="740000"/>	daN cm	sollecitazione agente
σ _s =	<input type="text" value="1849"/>	daN/cm ²	tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di carico considerata

si ricava l'allungamento medio dell'acciaio:

$$\varepsilon_{sm} = (\sigma_s - k_t (f_{ctm} A_{c,eff} / A_s) (1 + E_s A_s / E_{cm} A_{c,eff})) / E_s = 0.00053$$

valore superiore al minimo:

$$\varepsilon_{smin} = 0.6 * \sigma_s / E_s = 0.00053$$

Il valore medio di apertura della fessura vale:

$$w_k = 1,7 * \Delta_{sm} * \varepsilon_{sm} = 0.168 \text{ mm} < \boxed{0.2} \text{ mm (valore ammissibile)}$$

10.2 Parete trasversale 30 cm

La nuova parete è spessa 30 cm, alta 4,5 m e lunga 13 m, con due pareti ortogonali intermedie; l'altezza del liquido è di 3,75 m e può essere presente su ciascuno dei due lati, in modo indipendente.

Si determinano le sollecitazioni nella nuova parete schematizzata come piastra appoggiata alle pareti longitudinali, alle pareti trasversali ed al fondo, sollecitata dalla spinta idrostatica e sismica del liquido, oltre all'inerzia della parete.

Tipo carico di pressione variabile su piastra

Id	Tipo	pressione	quota	pressione	quota
		daN/cm ²	cm	daN/cm ²	cm
1	spinta acqua 4125 daN/m ² -PL3:pi=0.0 qi=375.00 pf=0.41 qf=0.0	0.0	375.00	0.41	0.0

Tipo carico variabile generale

Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
		cm	daN/cm ²	cm	daN/cm ²
2	carico sovraspinta liquido 100 / 600 daN/mq-QV:var z - Qy - Area				
	Z - Z Qy Area L2=0.0	0.0	0.06	375.00	0.01
3	carico inerzia parete 100 daN/mq-QV:var z - Qy - Area				
	Z - Z Qy Area L2=0.0	0.0	0.01	450.00	0.01

I casi di carico considerati sono i seguenti

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Gk	CDC=G1k (permanente generico) liquido statico
2	Etk	CDC=Etk (inc. sp. liquido) SLV dir + alfa=90.00
3	Etk	CDC=Etk (inc. sp. inerzia) SLV dir + alfa=90.00

Le combinazioni considerate sono le seguenti

Cmb	Tipo	Sigla Id	CDC 1	CDC 2	CDC 3
1	SLU	Combinazione 1 SLU	1.30	0.0	0.0
2	SLE(r)	Combinazione 2 SLE	1.00	0.0	0.0
3	SLU	Combinazione 3 SLU (SLV)	1.00	1.00	1.00

Condizioni statiche:

Sulla base della schematizzazione della parete agli elementi finiti, i cui risultati sono riportati di seguito, si ricava:

$$M_{dV} = 6000 \text{ daN m}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 30 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,058$$

$$\omega = 0,062$$

$$A_s = 7,7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$M_{dO} = -7600 \text{ daN m}$ (in corrispondenza del primo muro trasversale)

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 30 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,074$$

$$\omega = 0,079$$

$$A_s = 10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Condizioni sismiche:

$$M_{dV} = 5800 \text{ daN m}$$

$M_{dO} = 7800 \text{ daN m}$ (in corrispondenza del primo muro trasversale)

Pertanto la condizione statica risulta più gravosa, tenendo conto del tasso di lavoro inferiore che viene utilizzato per contenere la fessurazione.

Considerando anche la limitazione delle fessure, si predispongono 1+1 \emptyset 16/20 sia verticali sia orizzontali, a cui si aggiungono degli spezzoni orizzontali 1+1 \emptyset 12/20 in corrispondenza del muro trasversale.

Il collegamento alle pareti avviene con dei connettori che lavorano principalmente a taglio.

Le sollecitazioni massime desunte dalle reazioni nel modello agli elementi finiti sono:

- Taglio sul fondo: 6400 daN/m
- Taglio sulle pareti: 5100 daN/m

Predisponendo degli spinotti \emptyset 20/30 sia sul fondo sia sulle pareti si hanno le seguenti resistenze:

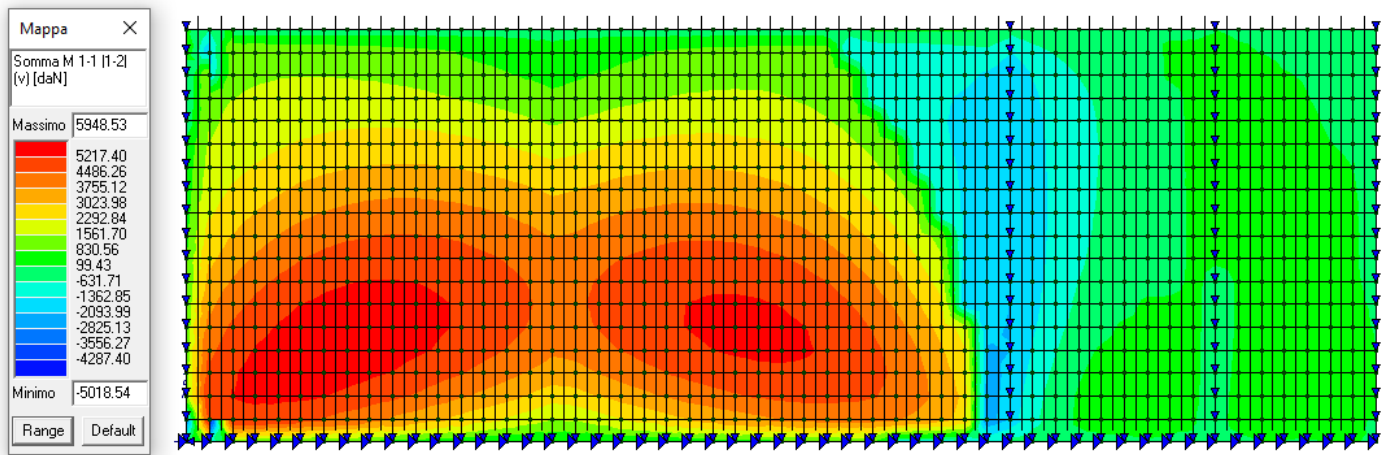
Lato acciaio $V_{Rd} = 3 \times 3/4 \times 3.14 \times 3900 / 3^{0.5} = 15900 \text{ daN/m} > V_{Sd}$

Lato calcestruzzo $V_{Rd} = 3 \times 1.2 \times 2^2 \times (3900 \times 132)^{0.5} = 11300 \text{ daN/m} > V_{Sd}$

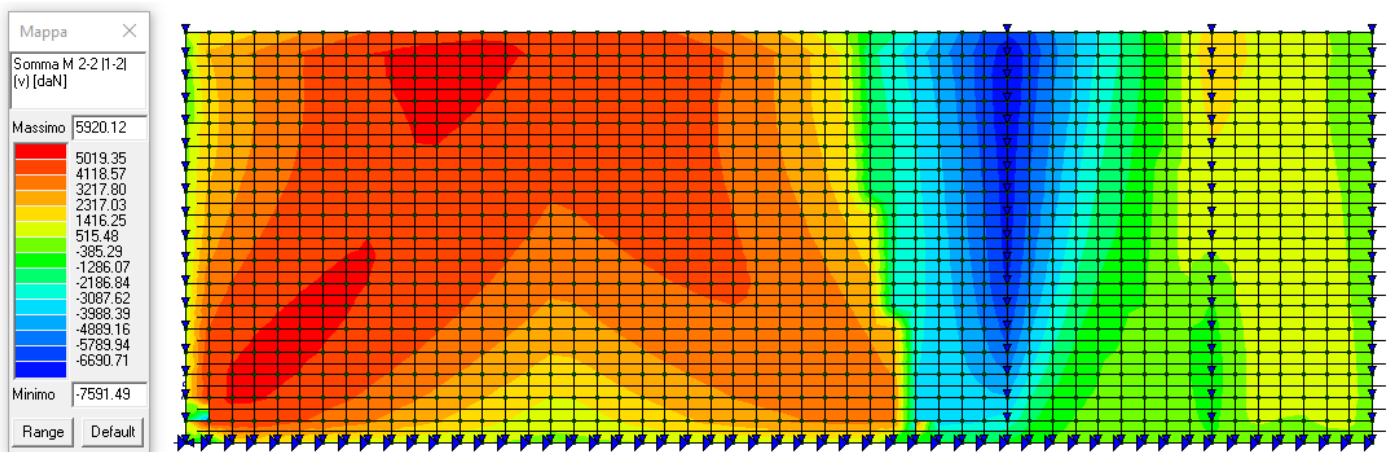
Per l'acciaio si è considerato $f_{yd} = 3900 \text{ daN/cm}^2$ e per il calcestruzzo esistente $f_{cd} = 132 \text{ daN/cm}^2$

Risultati della schematizzazione agli elementi finiti:

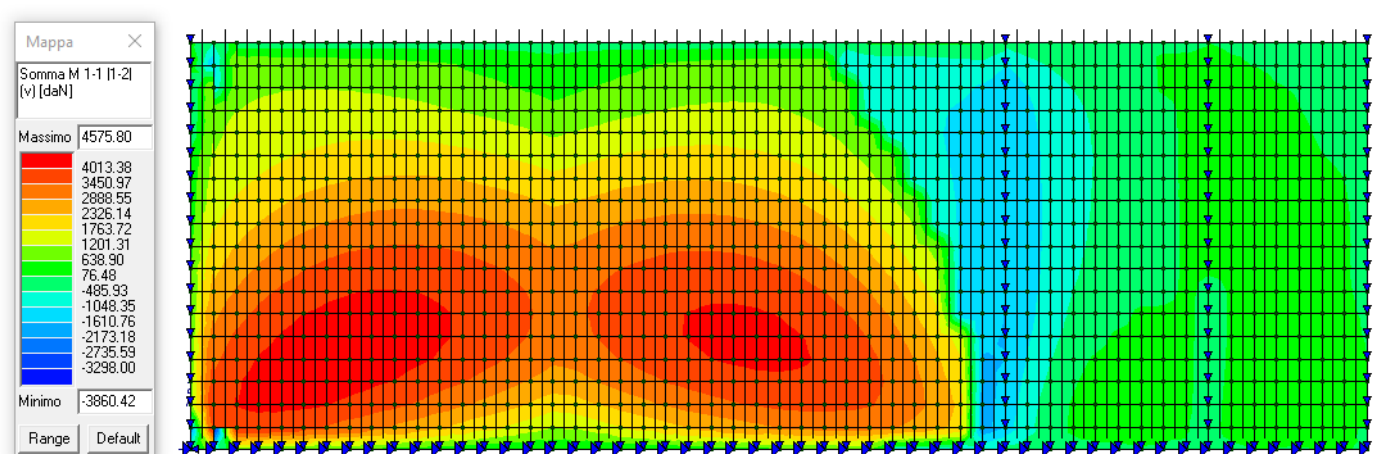
Momenti nel piano verticale a SLU (M + tira le fibre opposte al liquido)



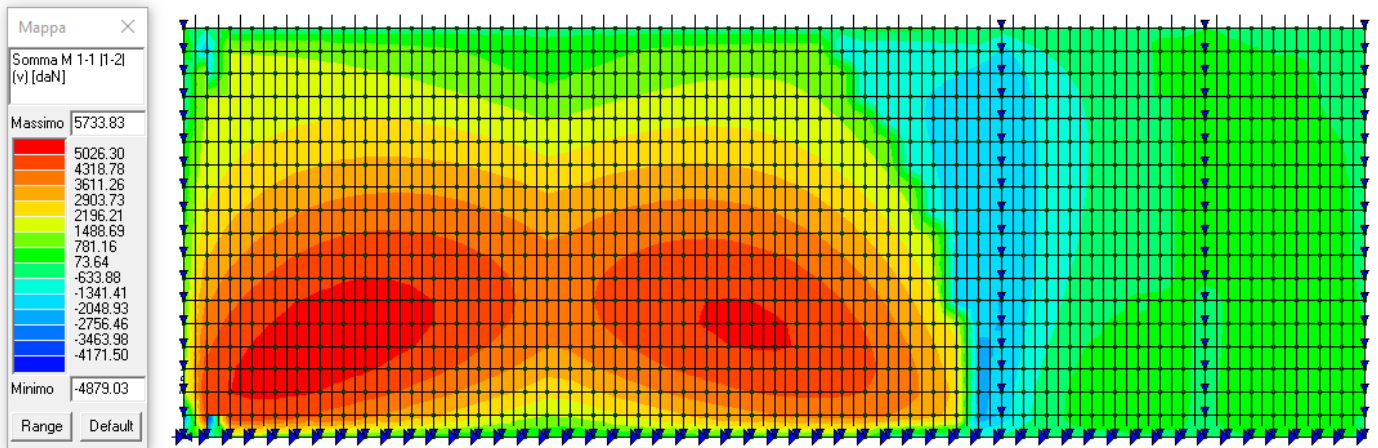
Momenti nel piano orizzontale a SLU (M + tira le fibre opposte al liquido)



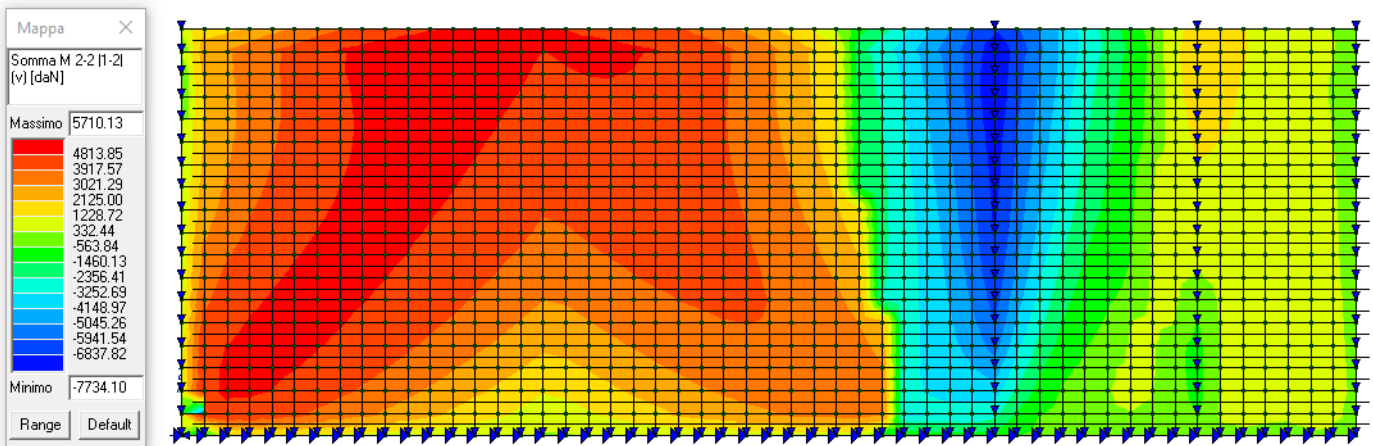
Momenti nel piano verticale a SLE (M + tira le fibre opposte al liquido)



Momenti nel piano verticale a SLV (M + tira le fibre opposte al liquido)



Momenti nel piano orizzontale a SLV (M + tira le fibre opposte al liquido)



Di seguito si riporta la verifica a fessurazione della parete spessa 30 cm, armata con $1\phi 16/20$ e sollecitata da 3.75 m d'acqua; dal calcolo allo SLE della piastra si ricava la sollecitazione massima $M = 4600$ daN m.

VERIFICA A FESSURAZIONE PARETE

La verifica a fessurazione, condotta con il metodo descritto nella circolare del 2019, conferma la limitazione delle fessure.

VERIFICA A FESSURAZIONE DM 2018

flessione - parete 30 cm

Essendo:

B =	<input type="text" value="100"/>	cm	larghezza sezione
h =	<input type="text" value="30"/>	cm	altezza sezione
d =	<input type="text" value="25"/>	cm	altezza utile sezione
x =	<input type="text" value="6.9"/>	cm	distanza asse neutro bordo compresso (calcolato)
c =	<input type="text" value="3.5"/>	cm	ricoprimento armatura
s =	<input type="text" value="20"/>	cm	distanza tra i ferri
k ₁ =	<input type="text" value="0.8"/>		coeff.ferro (0.8 aderenza migliorata 1,6 barre lisce)
k ₂ =	<input type="text" value="0.5"/>		coeff. (0.5 fless. semplice 1.0 trazione pura)
k ₃ =	<input type="text" value="3.4"/>		
k ₄ =	<input type="text" value="0.425"/>		
φ =	<input type="text" value="1.6"/>	cm	diametro barre / diametro equivalente
A _s =	<input type="text" value="10"/>	cm ²	area armatura tesa
h _{c,eff} =	<input type="text" value="7.7"/>	cm	altezza efficace del calcestruzzo

risulta:

A _{c,eff} =	<input type="text" value="768"/>	cm ²	area efficace di calcestruzzo entro la quale l'acciaio influenza l'apertura delle fessure
----------------------	----------------------------------	-----------------	---

$$\Delta_{sm} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi A_{c,eff} / A_s / 1,7 = 19.29 \text{ cm}$$

distanza massima fra le fessure in corrispondenza del baricentro della armatura all'interno dell'area efficace

ed essendo inoltre:

k _t =	<input type="text" value="0.4"/>		coeff. (0,6 se azione di breve 0,4 lunga durata)
R _{ck} =	<input type="text" value="350"/>	daN/cm ²	classe del calcestruzzo
E _{cm} =	<input type="text" value="325881"/>	daN/cm ²	modulo elastico istantaneo del calcestruzzo
f _{ctm} =	<input type="text" value="28"/>	daN/cm ²	resistenza media a trazione semplice del calcestruzzo
E _s =	<input type="text" value="2100000"/>	daN/cm ²	modulo elastico dell'acciaio
M =	<input type="text" value="460000"/>	daN cm	sollecitazione agente
σ _s =	<input type="text" value="2054"/>	daN/cm ²	tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di carico considerata

si ricava l'allungamento medio dell'acciaio:

$$\varepsilon_{sm} = (\sigma_s - k_t (f_{ctm} A_{c,eff} / A_s) (1 + E_s A_s / E_{cm} A_{c,eff})) / E_s = 0.00053$$

valore inferiore al minimo:

$$\varepsilon_{smin} = 0.6 * \sigma_s / E_s = 0.00059$$

Il valore medio di apertura della fessura vale:

$$w_k = 1,7 * \Delta_{sm} * \varepsilon_{sm} = 0.192 \text{ mm} < \boxed{0.2} \text{ mm (valore ammissibile)}$$

10.3 Parete trasversale pozzetti 30 cm

La nuova parete è spessa 30 cm, alta 4,5 m e lunga 4.1m, posta fra il rinforzo della parete trasversale esistente e la nuova parete trasversale spessa 30 cm; l'altezza del liquido è di 3,75 m e può essere presente su ciascuno dei due lati, in modo indipendente.

Si determinano le sollecitazioni nella nuova parete schematizzata come trave incastrata agli estremi, sollecitata dalla spinta idrostatica e sismica del liquido, oltre all'inerzia della parete.

Condizioni statiche SLU:

Sulla base della schematizzazione della parete come trave sollecitata dalla spinta a 2.5 m dalla sommità, si ricava:

$$M_{d0} = 3575 \times 4.4^2 / 12 = 5800 \text{ daN m}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 30 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,056$$

$$\omega = 0,059$$

$$A_s = 7,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Tenendo anche conto della limitazione delle fessure, si predispongono 1+1 \emptyset 16/20 sia verticali sia orizzontali.

Condizioni sismiche SLV:

Sulla base della schematizzazione della parete come trave sollecitata dalla spinta a 2.5 m dalla sommità, si ricava:

$$M_{d0} = 3300 \times 4.4^2 / 12 = 5400 \text{ daN m}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 30 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,052$$

$$\omega = 0,055$$

$$A_s = 5,8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Condizioni statiche SLE:

Sulla base della schematizzazione della parete come trave sollecitata dalla spinta a 2.5 m dalla sommità, si ricava:

$$M = 2750 \times 4.4^2 / 12 = 4500 \text{ daN m}$$

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione della parete spessa 30 cm, armata con 1 ϕ 16/20.

VERIFICA A FESSURAZIONE PARETE

La verifica a fessurazione, condotta con il metodo descritto nella circolare del 2019, conferma la limitazione delle fessure.

VERIFICA A FESSURAZIONE DM 2018

flessione - parete 30 cm pozzetto

Essendo:

B =	<input type="text" value="100"/>	cm	larghezza sezione
h =	<input type="text" value="30"/>	cm	altezza sezione
d =	<input type="text" value="25"/>	cm	altezza utile sezione
x =	<input type="text" value="6.9"/>	cm	distanza asse neutro bordo compresso (calcolato)
c =	<input type="text" value="3.5"/>	cm	ricoprimento armatura
s =	<input type="text" value="20"/>	cm	distanza tra i ferri
k ₁ =	<input type="text" value="0.8"/>		coeff.ferro (0.8 aderenza migliorata 1,6 barre lisce)
k ₂ =	<input type="text" value="0.5"/>		coeff. (0.5 fless. semplice 1.0 trazione pura)
k ₃ =	<input type="text" value="3.4"/>		
k ₄ =	<input type="text" value="0.425"/>		
φ =	<input type="text" value="1.6"/>	cm	diametro barre / diametro equivalente
A _s =	<input type="text" value="10"/>	cm ²	area armatura tesa
h _{c,ef} =	<input type="text" value="7.7"/>	cm	altezza efficace del calcestruzzo

risulta:

A _{c,eff} =	<input type="text" value="768"/>	cm ²	area efficace di calcestruzzo entro la quale l'acciaio influenza l'apertura delle fessure
----------------------	----------------------------------	-----------------	---

$\Delta_{sm} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi A_{c,eff} / A_s / 1,7 =$	<input type="text" value="19.29"/>	cm	distanza massima fra le fessure in corrispondenza del baricentro della armatura all'interno dell'area efficace
--	------------------------------------	----	--

ed essendo inoltre:

k _t =	<input type="text" value="0.4"/>		coeff. (0,6 se azione di breve 0,4 lunga durata)
R _{ck} =	<input type="text" value="350"/>	daN/cm ²	classe del calcestruzzo
E _{cm} =	<input type="text" value="325881"/>	daN/cm ²	modulo elastico istantaneo del calcestruzzo
f _{ctm} =	<input type="text" value="28"/>	daN/cm ²	resistenza media a trazione semplice del calcestruzzo
E _s =	<input type="text" value="2100000"/>	daN/cm ²	modulo elastico dell'acciaio
M =	<input type="text" value="450000"/>	daN cm	sollecitazione agente
σ _s =	<input type="text" value="2010"/>	daN/cm ²	tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di carico considerata

si ricava l'allungamento medio dell'acciaio:

$$\varepsilon_{sm} = (\sigma_s - k_t (f_{ctm} A_{c,eff} / A_s) (1 + E_s A_s / E_{cm} A_{c,eff})) / E_s = 0.00051$$

valore inferiore al minimo:

$$\varepsilon_{smin} = 0.6 \sigma_s / E_s = 0.00057$$

Il valore medio di apertura della fessura vale:

$$w_k = 1,7 * \Delta_{sm} * \varepsilon_{sm} = 0.188 \text{ mm} < \boxed{0.2} \text{ mm (valore ammissibile)}$$

10.4 Parete trasversale rinforzata 20+20 cm

La parete esistente spessa 20 cm viene rinforzata con una nuova parete spessa 20 cm, ad essa solidarizzata con appositi spinotti \varnothing 16/20/40, alta 4,5 m e lunga 13 m, con due pareti ortogonali intermedie. Si è inoltre tenuto conto del probabile vincolo della passerella in C.A. collocata in asse alla vasca esistente (da verificare in sede di progetto esecutivo); l'altezza del liquido è di 3,75 m e può essere presente su ciascuno dei due lati, in modo indipendente.

Si determinano le sollecitazioni nella nuova parete schematizzata come piastra appoggiata alle pareti longitudinali, alle pareti trasversali ed al fondo, sollecitata dalla spinta idrostatica e sismica del liquido, oltre all'inerzia della parete.

Tipo carico di pressione variabile su piastra

Id	Tipo	pressione	quota	pressione	quota
		daN/cm ²	cm	daN/cm ²	cm
1	spinta acqua 4125 daN/m ² -PL3:pi=0.0 qi=375.00 pf=0.41 qf=0.0	0.0	375.00	0.41	0.0

Tipo carico variabile generale

Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
		cm	daN/cm ²	cm	daN/cm ²
2	carico sovraspinta liquido 100 / 600 daN/mq-QV:var z - Qy - Area Z - Z Qy Area L2=0.0	0.0	0.06	375.00	0.01
3	carico inerzia parete 100 daN/mq-QV:var z - Qy - Area Z - Z Qy Area L2=0.0	0.0	0.01	450.00	0.01

I casi di carico considerati sono i seguenti

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Gk	CDC=G1k (permanente generico) liquido statico
2	Etk	CDC=Etk (inc. sp. liquido) SLV dir + alfa=90.00
3	Etk	CDC=Etk (inc. sp. inerzia) SLV dir + alfa=90.00

Le combinazioni considerate sono le seguenti

Cmb	Tipo	Sigla Id	CDC 1	CDC 2	CDC 3
1	SLU	Combinazione 1 SLU	1.30	0.0	0.0
2	SLE(r)	Combinazione 2 SLE	1.00	0.0	0.0
3	SLU	Combinazione 3 SLU (SLV)	1.00	1.00	1.00

Condizioni statiche:

Sulla base della schematizzazione della parete agli elementi finiti, i cui risultati sono riportati di seguito, si ricava:

$$M_{dV} = 5300 \text{ daN m}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 40 \text{ cm}$$

$$d = 35 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,033$$

$$\omega = 0,034$$

$$A_s = 5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Per quanto riguarda l'armatura esistente nella parete, supponendo sia pari alla sola rete $\emptyset 8/10/10$, essa appare in grado di soddisfare la verifica a SLU.

$$M_{dO} = -4100 \text{ daN m}$$

$$M_{dO} = -8900 \text{ daN m (in corrispondenza del vincolo con la passerella in C.A.)}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$H = 40 \text{ cm}$$

$$d = 35 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,044$$

$$\omega = 0,046$$

$$A_s = 8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Nella fase di progetto esecutivo andrà verificata la presenza del vincolo e l'armatura nella sommità della parete. Nel caso quest'ultima risultasse insufficiente, dovrà essere rinforzata.

Dal lato della nuova parete di rinforzo, l'armatura presente è sufficiente in ogni caso.

Condizioni sismiche:

$$M_{dV} = 5000 \text{ daN m}$$

$$M_{dO} = 4100 \text{ daN m}$$

$$M_{dO} = 8900 \text{ daN m (in corrispondenza del vincolo con la passerella in C.A.)}$$

Pertanto la condizione statica risulta più gravosa, tenendo conto del tasso di lavoro inferiore che viene utilizzato per contenere la fessurazione.

Considerando anche la limitazione delle fessure, si predispongono 1+1 $\emptyset 16/20$ sia verticali sia orizzontali.

Il collegamento alle pareti avviene con dei connettori che lavorano principalmente a taglio.

Le sollecitazioni massime desunte dalle reazioni nel modello agli elementi finiti sono:

- Taglio sul fondo: 7600 daN/m
- Taglio sulle pareti: 5600 daN/m

Predisponendo degli spinotti $\emptyset 16/20$ sia sul fondo sia sulle pareti si hanno le seguenti resistenze:

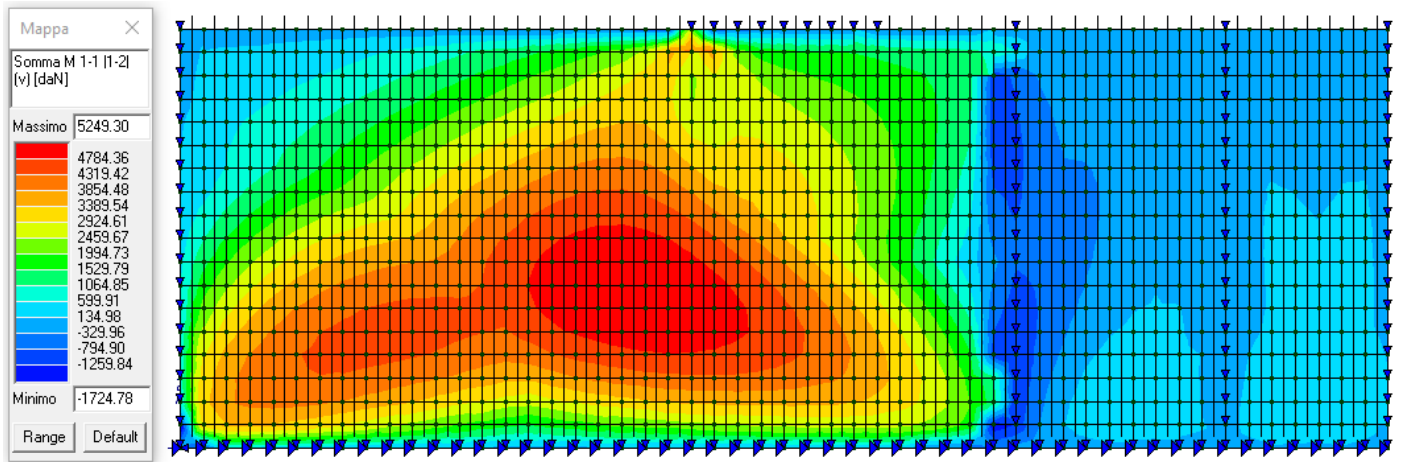
$$\text{Lato acciaio} \quad V_{Rd} = 5 \times 3/4 \times 2.01 \times 3900 / 3^{0.5} = 16900 \text{ daN/m} > V_{Sd}$$

$$\text{Lato calcestruzzo} \quad V_{Rd} = 5 \times 1.2 \times 1.6^2 \times (3900 \times 132)^{0.5} = 11000 \text{ daN/m} > V_{Sd}$$

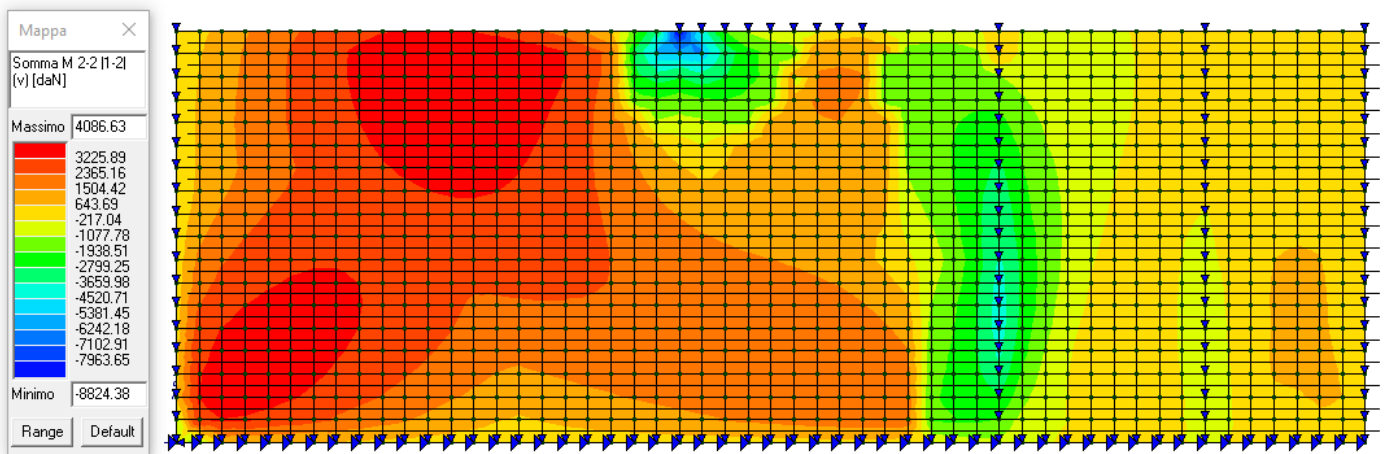
Per l'acciaio si è considerato $f_{yd} = 3900 \text{ daN/cm}^2$ e per il calcestruzzo esistente $f_{cd} = 132 \text{ daN/cm}^2$

Risultati della schematizzazione agli elementi finiti:

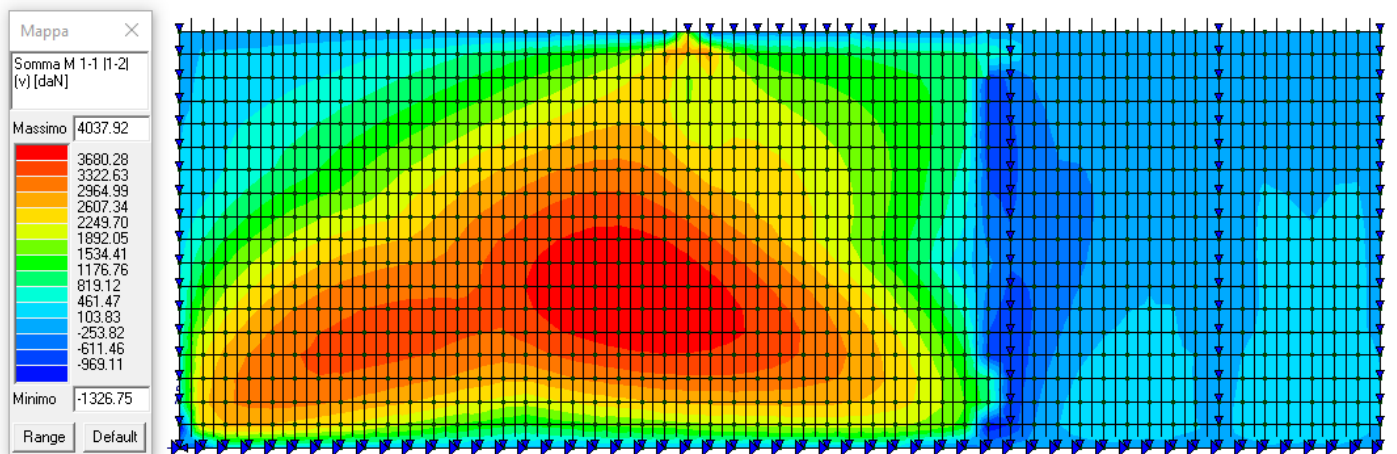
Momenti nel piano verticale a SLU (M + tira le fibre opposte al liquido)



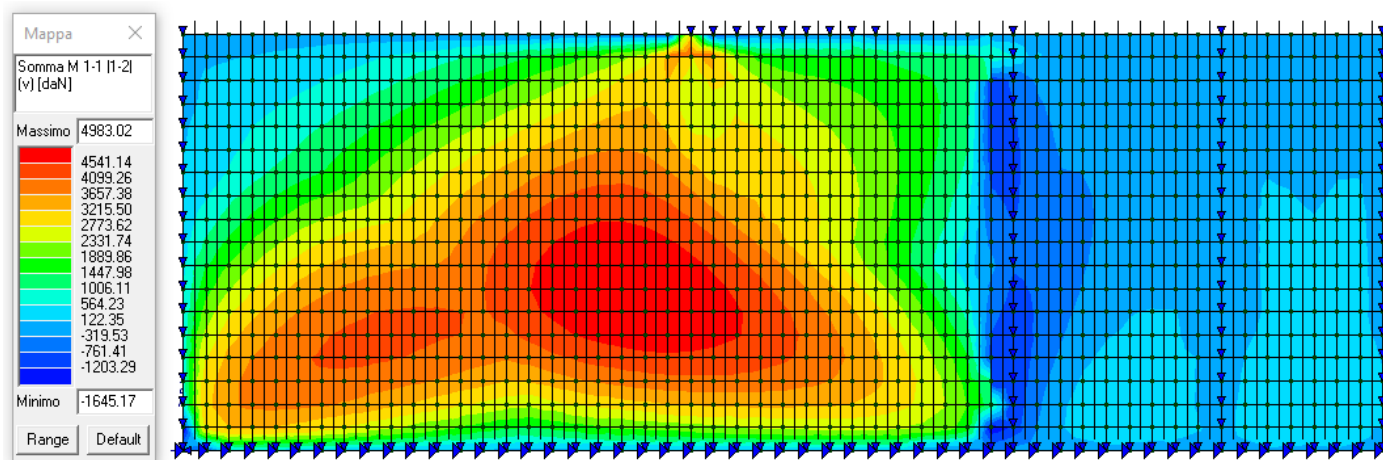
Momenti nel piano orizzontale a SLU (M + tira le fibre opposte al liquido)



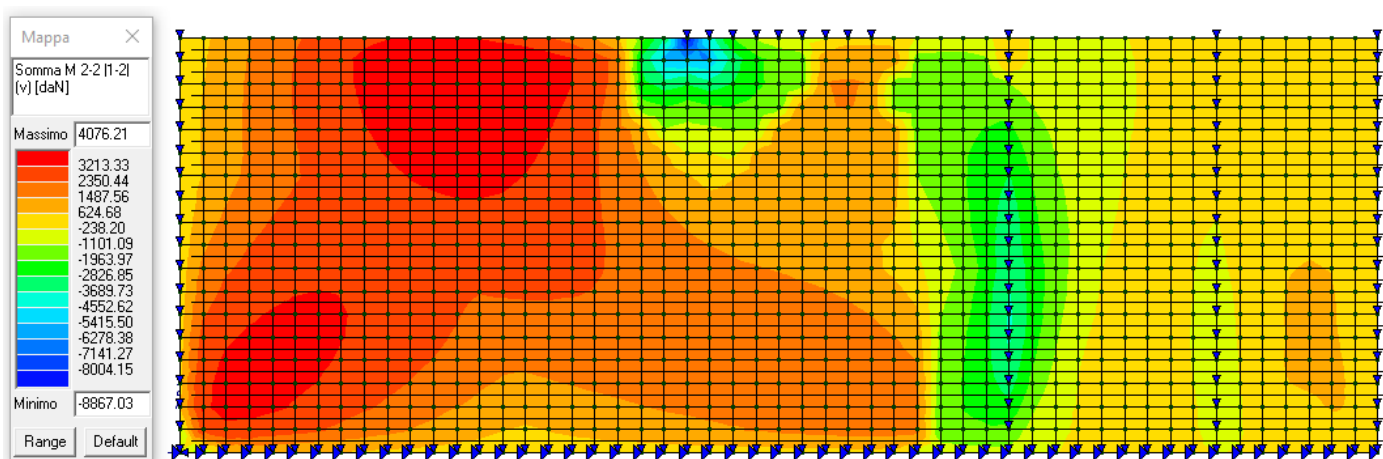
Momenti nel piano verticale a SLE (M + tira le fibre opposte al liquido)



Momenti nel piano verticale a SLV (M + tira le fibre opposte al liquido)



Momenti nel piano orizzontale a SLV (M + tira le fibre opposte al liquido)



Non essendo nota l'armatura presente nella parete esistente e la sua profondità, non ha significato condurre una verifica a fessurazione lato armatura esistente.

Per quanto riguarda la nuova armatura nel rinforzo pari ad 1 \emptyset 16/20, questa è certamente in grado di contenere la fessurazione per il momento $M = 4100$ daN m, come si può vedere nella pagina che segue.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione lato rinforzo della parete, con spessore complessivo 40 cm, armata con 1 \emptyset 16/20 e sollecitata da 3.75 m d'acqua; dal calcolo allo SLE della piastra si ricava la sollecitazione massima $M = 4100$ daN m.

VERIFICA A FESSURAZIONE PARETE

La verifica a fessurazione, condotta con il metodo descritto nella circolare del 2019, conferma la limitazione delle fessure.

VERIFICA A FESSURAZIONE DM 2018

flessione - parete 20+20 cm

Essendo:

B =	<input type="text" value="100"/>	cm	larghezza sezione
h =	<input type="text" value="40"/>	cm	altezza sezione
d =	<input type="text" value="35"/>	cm	altezza utile sezione
x =	<input type="text" value="8.4"/>	cm	distanza asse neutro bordo compresso (calcolato)
c =	<input type="text" value="3.5"/>	cm	ricoprimento armatura
s =	<input type="text" value="20"/>	cm	distanza tra i ferri
k ₁ =	<input type="text" value="0.8"/>		coeff. ferro (0.8 aderenza migliorata 1,6 barre lisce)
k ₂ =	<input type="text" value="0.5"/>		coeff. (0.5 fless. semplice 1.0 trazione pura)
k ₃ =	<input type="text" value="3.4"/>		
k ₄ =	<input type="text" value="0.425"/>		
φ =	<input type="text" value="1.6"/>	cm	diametro barre / diametro equivalente
A _s =	<input type="text" value="10"/>	cm ²	area armatura tesa
h _{c,eff} =	<input type="text" value="10.5"/>	cm	altezza efficace del calcestruzzo

risulta:

A _{c,eff} =	<input type="text" value="1055"/>	cm ²	area efficace di calcestruzzo entro la quale l'acciaio influenza l'apertura delle fessure
----------------------	-----------------------------------	-----------------	---

$\Delta_{sm} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi A_{c,eff} / A_s / 1,7 =$	<input type="text" value="23.88"/>	cm	distanza massima fra le fessure in corrispondenza del baricentro della armatura all'interno dell'area efficace
--	------------------------------------	----	--

ed essendo inoltre:

k _t =	<input type="text" value="0.4"/>		coeff. (0,6 se azione di breve 0,4 lunga durata)
R _{ck} =	<input type="text" value="350"/>	daN/cm ²	classe del calcestruzzo
E _{cm} =	<input type="text" value="325881"/>	daN/cm ²	modulo elastico istantaneo del calcestruzzo
f _{ctm} =	<input type="text" value="28"/>	daN/cm ²	resistenza media a trazione semplice del calcestruzzo
E _s =	<input type="text" value="2100000"/>	daN/cm ²	modulo elastico dell'acciaio
M =	<input type="text" value="410000"/>	daN cm	sollecitazione agente
σ _s =	<input type="text" value="1284"/>	daN/cm ²	tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di carico considerata

si ricava l'allungamento medio dell'acciaio:

$$\varepsilon_{sm} = (\sigma_s - k_t (f_{ctm} A_{c,eff} / A_s) (1 + E_s A_s / E_{cm} A_{c,eff})) / E_s = 0.00001$$

valore inferiore al minimo:

$$\varepsilon_{smin} = 0.6 \cdot \sigma_s / E_s = 0.00037$$

Il valore medio di apertura della fessura vale:

$$w_k = 1,7 \cdot \Delta_{sm} \cdot \varepsilon_{sm} = 0.149 \text{ mm} < \boxed{0.2} \text{ mm (valore ammissibile)}$$

10.5 PLATEA DI FONDAZIONE

Si verifica l'eventuale necessità di armatura nella zona centrale della vasca esistente in cui sono realizzati i nuovi muri di separazione, comparandola con l'armatura rinvenuta nello scasso eseguito nella platea.

Vista la forma rettangolare della vasca più estesa, si considera uno schema a trave fra i muri trasversali alla vasca esistente.

La sollecitazione nella platea è dovuta al peso delle pareti ed ai carichi gravanti su di esse.

I carichi considerati sono i seguenti:

Peso delle pareti:	165700 daN
Peso della passerella c.a.	12700 daN
Peso delle passerelle in grigliato	2600 daN
Carico variabile passerella c.a. (pedonale + neve)	2800 daN
Carico variabile passerelle in grigliato (pedonale + neve)	17100 daN

Si considera un carico uniforme agente sull'impronta dei muri pari a

$$q = 200900 / (4.8 \times 13.6) = 3080 \text{ daN/m}^2$$

$$M_d = 1.3 \times 3080 \times 4.4^2 / 10 = 7750 \text{ daN m}$$

Si considerano i materiali dell'epoca di costruzione con i relativi fattori di sicurezza:

calcestruzzo C25/30	$f_{cd} = 132 \text{ daN/cm}^2$
acciaio FeB44k	$f_{yd} = 3700 \text{ daN/cm}^2$

B = 100 cm	H = 40 cm	h = 31 cm
$\mu = 0,061$	$\omega = 0,065$	$A_f = 7,2 \text{ cm}^2$

Considerando l'armatura superiore rinvenuta parallelamente ai lati lunghi della vasca esistente (la rete $\phi 10/10/10$ con area 7.8 cm^2 e l'armatura lenta $\phi 16/15$ con area 13.4 cm^2), si ha un totale di 21.2 cm^2 che risulta adeguato nella zona centrale delle vasche.

Ipotizzando che l'armatura inferiore sia solo la rete $\phi 10/10/10$ con area 7.8 cm^2 , anche in questo caso sarebbe sufficiente nelle zone sotto ai muri trasversali.

Le armature rilevate risultano quindi adeguate alla nuova situazione della vasca.

10.6 BASAMENTO DISSABBIATORE

Il basamento del dissabbiatore ha dimensioni in pianta 2.0 m x 6.55 m e spessore 30 cm. E' realizzato con estradosso al livello della viabilità circostante e fondato su uno strato di terreno misto granulato steso e compattato a strati, in sostituzione del terreno con scadenti caratteristiche meccaniche. Il macchinario appoggia su muretti di sezione 25 cm x 60 cm che formano una U sul basamento.

Il basamento è soggetto al peso del macchinario e dei liquami che può contenere, oltre al peso della struttura in C.A..

I carichi che sollecitano il basamento sono i seguenti:

Peso del dissabbiatore vuoto:	1587 daN
Peso del dissabbiatore pieno:	10755 daN
Peso dei muretti in c.a.	5400 daN
Peso della passerella	350 daN
Carico variabile passerella (pedonale + neve)	2300 daN
Carico variabile dissabbiatore (pedonale + neve)	2600 daN

Il carico agente sull'impronta della fondazione e il carico che la sollecita è il seguente:

$$q = 21405 / (6.55 \times 2.0) = 1634 \text{ daN/m}^2$$

$$M_d = 1.5 \times 1634 \times 1.35^2 / 8 = 560 \text{ daN m}$$

Si considerano i materiali seguenti:

calcestruzzo C28/35	$f_{cd} = 165 \text{ daN/cm}^2$
acciaio B450C	$f_{yd} = 3300 \text{ daN/cm}^2$ (ridotto per contenere la fessurazione)

B = 100 cm	H = 30 cm	h = 25 cm
$\mu = 0,005$	$\omega = 0,005$	$A_f = 0,6 \text{ cm}^2$

Tenendo anche conto dei minimi di armatura, si dispongono con 1 ϕ 12/20/20 inf / sup.

I muretti sono armati con 1 ϕ 12/20/20 int / est.

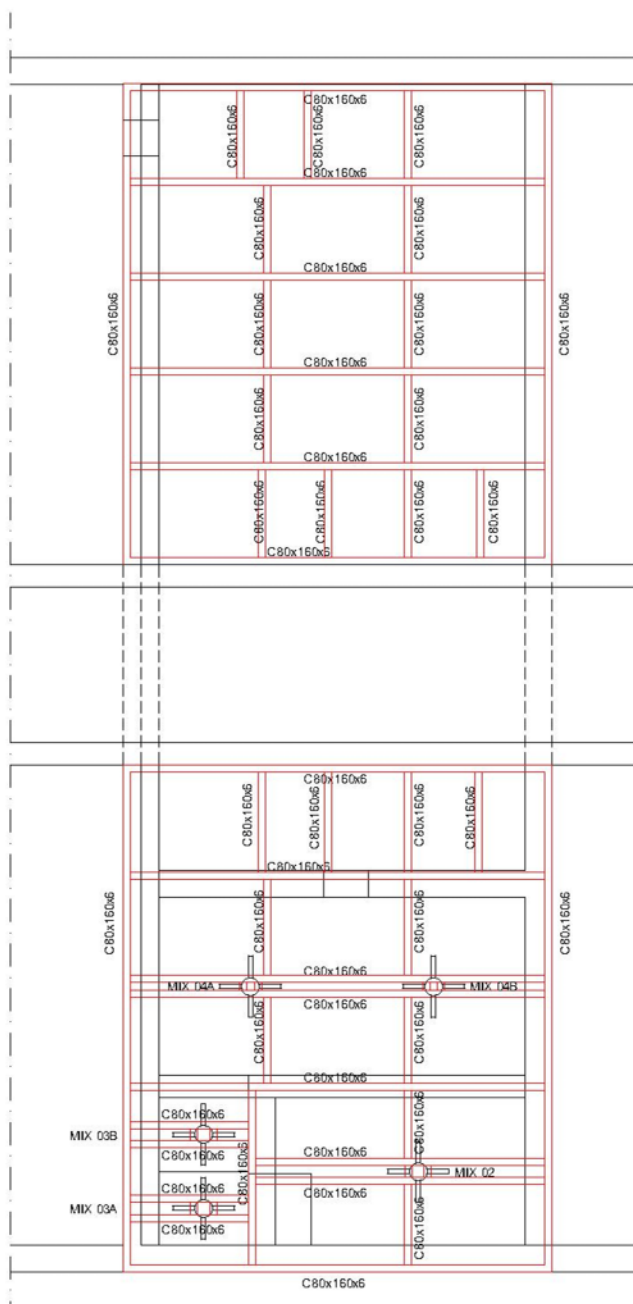
11 NUOVE OPERE IN CARPENTERIA METALLICA

11.1 Strutture passerelle in grigliato

Nella zona centrale della vasca esistente, sopra ai nuovi pozzetti per il trattamento chimico dei liquami, sono necessarie delle passerelle in grigliato per l'accesso durante il funzionamento o la manutenzione degli impianti.

La struttura portante è realizzata con travi disposte parallelamente al lato lungo della vasca esistente, in profilo pressopiegato di acciaio INOX C80x160x6 mm e grigliato in PRFV maglia aperta 40x40 mm spessore 30 mm.

La struttura è completata con elementi di chiusura perimetrali e traversini intermedi irrigidenti, sempre nello stesso profilo pressopiegato. La struttura è fissata alla sommità delle pareti con tasselli.



Si determinano le sollecitazioni nella trave più sollecitata, considerata semplicemente appoggiata agli estremi con luce di calcolo 4.4 m, circa pari all'interasse fra i muri, e sollecitata con i seguenti carichi:

peso proprio	$50 \text{ daN/m}^2 \times 1.1 =$	55 daN/m
Variabile pedonale	$200 \text{ daN/m}^2 \times 1.1 =$	220 daN/m
Variabile neve	$130 \text{ daN/m}^2 \times 1.1 =$	143 daN/m

Risulta pertanto:

$$M_d = (1.3 \times 275 + 1.5 \times 143) \times 4.4^2 / 8 = 1384 \text{ daN m}$$

$$V_d = (1.3 \times 275 + 1.5 \times 143) \times 4.4 / 2 = 1258 \text{ daN}$$

Il profilo C80x160x6 mm ha le seguenti caratteristiche:

$$A = 18.5 \text{ cm}^2 \quad A_t = 9 \text{ cm}^2 \quad W_{el} = 91 \text{ cm}^3 \quad J = 731 \text{ cm}^4$$

Pertanto le resistenze dell'acciaio INOX AISI 304 sono:

$$M_{Rd} = 91 \times 2300 / 1.1 / 100 = 1903 \text{ daN m} > M_d$$

$$V_{Rd} = 9 \times 2300 / 1.1 / 3^{0.5} = 10860 \text{ daN} > V_d$$

La deformazione attesa risulta

$$f = 5/384 \times 4.18 \times 440^4 / (E J) = 1.3 \text{ cm} < L/300 = 1.5 \text{ cm}$$

Su alcune travi, disposte a coppie affiancate ad una certa distanza, gravano anche i pesi di alcuni mixer, il cui peso massimo è 76 daN. Si verifica di seguito la trave più sollecitata

I carichi sono:

peso proprio	$50 \text{ daN/m}^2 \times 0.6 =$	30 daN/m
Variabile pedonale	$200 \text{ daN/m}^2 \times 0.6 =$	120 daN/m
Variabile neve	$130 \text{ daN/m}^2 \times 0.6 =$	80 daN/m
Mixer posti a 1.4 m dagli estremi	=	40 daN/cad

Risulta pertanto:

$$M_d = (1.3 \times 150 + 1.5 \times 80) \times 4.4^2 / 8 + 1.5 \times 40 \times 1.4 = 846 \text{ daN m} < M_{Rd}$$

$$V_d = (1.3 \times 150 + 1.5 \times 80) \times 4.4 / 2 + 1.5 \times 40 = 753 \text{ daN} < V_{Rd}$$

Queste travi risultano quindi meno sollecitate di quelle che supportano solamente il grigliato pedonale.

11.2 Scala dissabbiatore

Per accedere al livello superiore del dissabbiatore è necessaria una scala metallica ad una rampa che supera un dislivello di 2,6 m circa, con larghezza utile 90 cm (vedere immagine pagina seguente).

La struttura è composta da elementi realizzati con un profilo pressopiegato in acciaio INOX C60x160x6 mm.

La colonna è un elemento tralicciato con montanti ed elementi di tralicciatura saldati fra loro.

La trave che sostiene il pianerottolo di sbarco è realizzata da due profili affiancati di schiena.

I cosciali sono realizzati con profili singoli a cui sono fissati i gradini ed il pianerottolo in grigliato in PRFV a maglia aperta 40x40 mm spessore 30 mm. La portata del grigliato adatto per i carichi leggeri è di circa 300 daN concentrati e 500 daN/m² distribuiti.

Si determinano le sollecitazioni nel cosciale, considerato semplicemente appoggiato agli estremi con luce di calcolo 4 m, pari all'interasse fra gli appoggi.

I carichi applicati sono:

peso proprio $60 \text{ daN/m}^2 \times 0.5 = 30 \text{ daN/m}$

Variabile pedonale $200 \text{ daN/m}^2 \times 0.5 = 100 \text{ daN/m}$

Variabile neve $130 \text{ daN/m}^2 \times 0.5 = 65 \text{ daN/m}$

Risulta pertanto:

$$M_d = 1.5 \times 195 \times 4^2 / 8 = 585 \text{ daN m}$$

$$V_d = 1.5 \times 195 \times 4 / 2 = 585 \text{ daN}$$

Il profilo C60x160x6 mm ha le seguenti caratteristiche:

$$A = 16 \text{ cm}^2 \quad A_t = 9 \text{ cm}^2 \quad W_{el} = 73 \text{ cm}^3 \quad J = 589 \text{ cm}^4$$

Pertanto

$$M_{Rd} = 73 \times 2300 / 1.1 / 100 = 1526 \text{ daN m} > M_d$$

$$V_{Rd} = 9 \times 2300 / 1.1 / 3^{0.5} = 10860 \text{ daN} > V_d$$

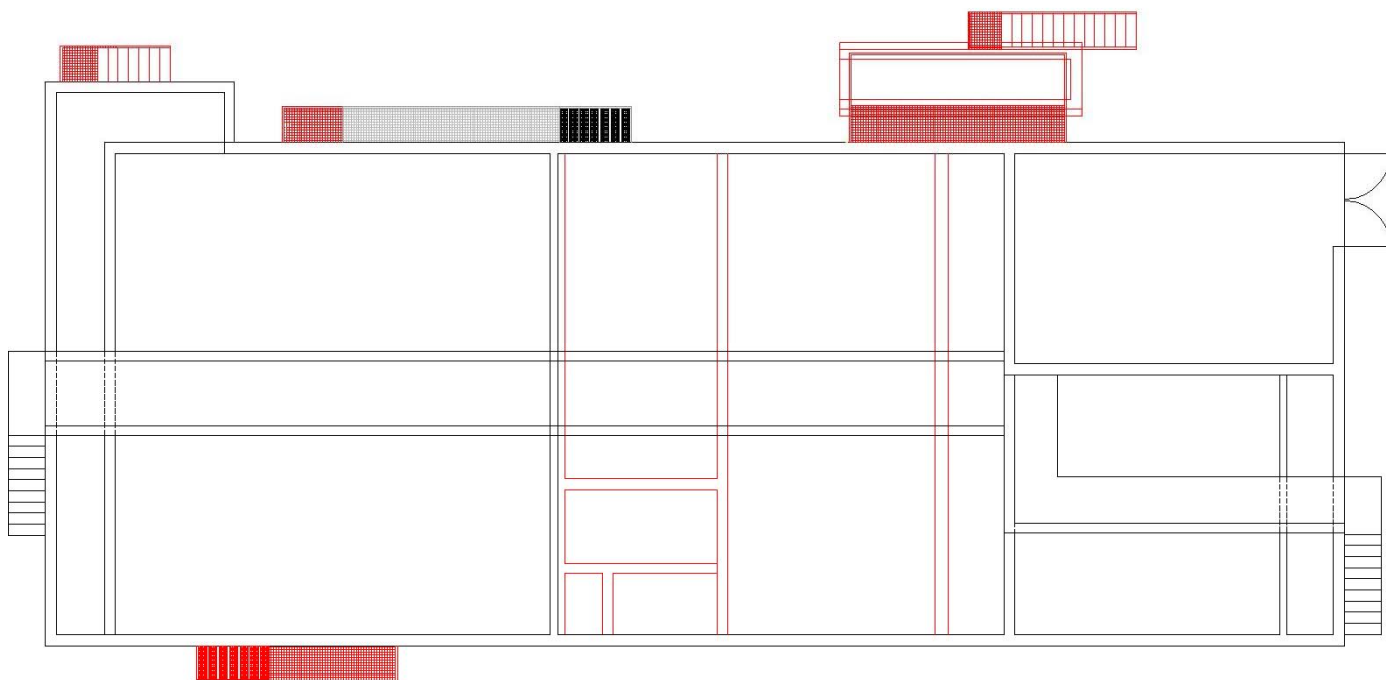
La deformazione attesa risulta

$$f = 5/384 \times 1.95 \times 400^4 / (E J) = 0.5 \text{ cm} < L/300 = 1.3 \text{ cm}$$

La passerella posizionata fra il piano superiore del dissabbiatore e la parete della vasca è realizzata con il semplice appoggio del grigliato sul dissabbiatore stesso e su un profilo angolare tassellato alla parete della vasca. Essendoci una luce libera inferiore a 1 m, il grigliato non ha bisogno di supporti per sostenere il carico pedonale e il carico neve.

11.3 Scale e passerelle varie

Per scopi manutentivi e/o di conduzione degli impianti sono necessarie delle scalette e delle passerelle realizzate con elementi portanti in profilo pressopiegato in acciaio INOX C60x160x6 mm e grigliato in PRFV maglia aperta 40x40 mm spessore 30 mm.



In particolare è necessaria una scala per superare un dislivello di 1.5 m circa e relativa passerella lunga 3.5 m circa. La larghezza utile di entrambe è 90 cm e le stesse sono collocate parallelamente al lato lungo della vasca esistente (lato sud). La passerella è sostenuta da 3 mensole tassellate alla parete della vasca.

E' poi prevista una scala per superare un dislivello di 1.5 m circa e relativo pianerottolo. La larghezza utile è 90 cm ed è collocata parallelamente al lato lungo della vasca esistente (lato nord). Il pianerottolo è sostenuto da una mensola tassellata alla parete della vasca.

E' anche necessario il prolungamento di 1.65 m di una passerella esistente collocata parallelamente al lato lungo della vasca esistente (lato nord). La passerella è sostenuta da 2 mensole tassellate alla parete della vasca.

Occorre infine realizzare un sistema di scalette e passerella per collegare le nuove passerelle in grigliato, realizzate nella parte centrale della vasca esistente, con il camminamento nella passerella in C.A. esistente e posta in asse alla mezzeria della vasca. Il dislivello da superare è di circa 1.2 m.

Dato che le scale e le passerelle sopra descritte saranno realizzate con lo stesso profilo portante verificato in condizioni più gravose per la scala del dissabbiatore nel paragrafo precedente, si omette di riportare le verifiche per i singoli elementi costituenti dette scale e passerelle minori.