

CUP: E32G11000200005

FSC 2014-2020 "Patto per lo sviluppo della Regione Puglia"

PROGETTO DEFINITIVO

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'ACQUEDOTTO DEL LOCONE - II LOTTO - DAL TORRINO DI BARLETTA AL SERBATOIO DI BARI-MODUGNO

Il Responsabile del Procedimento

ing. Massimo Pellegrini

PROGETTAZIONE

Progettisti

ing. Michelangelo GUASTAMACCHIA (Responsabile del progetto)

ing. Tommaso DI LERNIA

ing. Rosario ESPOSITO

ing. M. Alessandro SALIOLA

geom. Pietro SIMONE

geom. Giuseppe VALENTINO

Il Responsabile Ingegneria di Progettazione

ing. Massimo PELLEGRINI



acquedotto pugliese
l'acqua, bene comune

Direzione Ingegneria

Il Direttore
ing. Andrea VOLPE

Elaborato

D.5

Relazione generale di calcolo delle strutture

Codice Intervento P1063

Codice SAP: 21/10993

Prot. N. 0093292


Data 25/11/2019

N. Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato	Approvato
00	NOV.2019	Emesso per PROGETTO DEFINITIVO	/	/	/

“RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE”

Sommario

“RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE”	I
1. PREMESSA	1
1.1 Oggetto	1
1.2 Descrizione generale delle strutture.....	2
1.2.1 <i>Torrino piezometrico di Molfetta</i>	2
1.2.2 <i>Manufatti uniformati per il calcolo</i>	4
1.3 Inquadramento Normativo	10
2. PRESTAZIONI DI PROGETTO, VITA NOMINALE, CLASSE D’USO E QUALITÀ DEI MATERIALI	11
2.1 Classi di esposizione.....	11
2.2 Copriferro minimo e copriferro nominale.....	12
2.3 Vita Nominale e Classe d’Uso	12
2.4 Calcestruzzo.....	12
2.4.1 <i>Caratteristiche</i>	12
3. AZIONI SULLE STRUTTURE	14
3.1 Permanenti strutturali (G_1) e non strutturali (G_2).....	14
3.2 Azioni da sovraccarichi	14
3.3 Azione termica	15
3.4 Azione statica del liquido - Idrostatica.....	15
3.5 Azione statica del terreno - Litostatica.....	15
3.6 Azione della neve	15
3.7 Azione del vento.....	16
3.8 Azioni sismiche.....	16
3.9 Spinte idrodinamiche.....	17
4. DESCRIZIONE SOFTWARE DI CALCOLO E HARDWARE UTILIZZATI	26
4.1 Descrizione del software: SISMICAD (versione 12.14).....	26
4.2 Descrizione dell’hardware	30
5. COMBINAZIONI DI CARICO.....	31
6. MODELLAZIONE FEM E VERIFICA.....	33
6.1 Pozzetti e vasche lungo l’adduttore	33
6.2 Torrino Piezometrico	34
7. CRITERI DI VERIFICA	35
7.1 Stati limite ultimi.....	35
7.2 Stati limite di esercizio	35

	PROGETTO DEFINITIVO P1063 – Lavori di completamento dell’Acquedotto del Locone - II Lotto – dal Torrino di Barletta al serbatoio di Bari-Modugno	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE
		Pag 1 di 35

1. PREMESSA

1.1 Oggetto

La presente relazione contiene i criteri e i dati generali per sviluppare i calcoli strutturali delle opere in c.a. gettato in opera previste nel progetto in oggetto.

L’adduttrice in progetto si compone, in sintesi, delle seguenti principali opere:

- Condotta in acciaio di lunghezza complessiva pari a 47.126,25 del DN 1200 e del DN 1000, rispettivamente pari a 33.415,69 ml e 13.710,56ml;
- Impianto di protezione catodica a corrente impressa;
- predisposizione del sistema di telecontrollo di tutte le nuove camere di manovra a realizzarsi;
- Torrino piezometrico ubicato in prossimità del serbatoio di Molfetta, in contrada Piscina Rossa;
- N.29 pozzetti di scarico e n.26 pozzetti di sfiato per il regolare funzionamento della adduttrice;
- N. 4 manufatti di presa in carico sulla condotta principale per i serbatoi a servizio degli abitati di Trani, Bisceglie, Giovinazzo e Palese-S. Spirito, di cui N. 1 dotato di sfiato e N. 3 di scarico a pompa;
- N. 1 attraversamento autostradale (A14) con tecnologia “spingitubo”;
- N.1 attraversamento ferroviario (Ferrovie del Nord Barese) con tecnologia “spingitubo”;
- N. 18 attraversamenti stradali (Strade Provinciali) con tecnologia “spingitubo”, di cui N. 12 su Strade Provinciali in provincia di Bari e e N. 6 su Strade Provinciali in provincia di Barletta-Andria-Trani;
- N.2 attraversamenti di lame mediante la tecnica del “microtunnelling”.

I calcoli di dimensionamento e verifica delle strutture previste in progetto sono stati sviluppati ad un livello di definizione tale che nella successiva progettazione esecutiva non si abbiano significative differenze tecniche e di costo; sarà comunque onere del progettista della fase esecutiva condividere ed eventualmente riconsiderare alcune delle ipotesi progettuali effettuate e riverificare i risultati ottenuti nella presente fase definitiva anche in base agli approfondimenti (e alle scelte finali) che saranno fatti nella successiva e finale fase di progetto.

Onere del progettista esecutivo sarà inoltre quello di particolareggiare, anche attraverso adeguati elaborati grafici, tutte le armature dei manufatti (comprese quelle integrative di rinforzo atte a risolvere problematiche localizzate, come ad esempio le armature in corrispondenza di fori o di particolari picchi di tensione e sollecitazione, ecc), di prevedere esattamente ingombri, passaggi, cavedi, sedi, attraversamenti e simili, di ottimizzare le fasi di realizzazione e di considerare tutti quegli aspetti necessari alla cantierizzazione in modo da escludere la necessità di variazioni in corso di esecuzione.

Per quanto riguarda il Torrino Piezometrico del serbatoio di Molfetta, esso è stato modellato interamente come opera singola, mentre per quanto riguarda le tipologie di pozzetti e o vasche interrato, aventi pressoché dimensioni similari, è stato scelto di calcolarne un modello per tipologia, avente dimensioni e/o parametri sismici che massimizzino le azioni. Nel par.1.2 viene descritto nel particolare la metodologia di scelta.

Oltre alla presente relazione generale di calcolo delle strutture, in progetto sono allegati anche n. 19 Tabulati di dettaglio su ciascuna delle seguenti opere:

- Torrino Piezometrico di Molfetta;
- Pozzetti attraversamento strade h=5.15m sfioro;
- Pozzetti attraversamento strade h=5.55m;
- Pozzetti attraversamento strade h=6.75m sfioro;
- Pozzetti di misura Bari;
- Pozzetti di misura Barletta;

- Pozzetti di misura Giovinazzo;
- Pozzetti di misura Palese;
- Pozzetti di misura Trani e Bisceglie;
- Pozzetti prese in carico h=5.40m;
- Pozzetti scarico primari h=6.20m;
- Pozzetti scarico primari h=10.85m;
- Pozzetti scarico secondari h=5.60m;
- Pozzetti scarico secondari h=6.50m;
- Pozzetti scarico secondari h=7.10m;
- Pozzetti scarico secondari h=9.41m;
- Pozzetti sfiato;
- Vasca accumulo acque di lavaggio;
- Vasca di sedimentazione Bari.

Si demanda alla progettazione esecutiva il preciso sviluppo di tutti i calcoli di tutte le opere necessarie alla completa ed esaustiva verifica strutturale e geotecnica delle opere progettuali secondo la normativa vigente.

1.2 Descrizione generale delle strutture

Come già descritto nel precedente paragrafo, la maggior parte delle strutture previste in progetto è costituita da manufatti completamente interrati a forma di parallelepipedo realizzate in c.a. su fondazioni di tipo dirette (pozzetti, camerette, vasche, ecc..). Fa eccezione il nuovo torrino piezometrico previsto a Molfetta.

1.2.1 *Torrino piezometrico di Molfetta*

In corrispondenza della progr. 25.701,09 m è prevista la realizzazione di un torrino piezometrico. Il sito individuato risulta pressoché pianeggiante a quota di circa 100 m s.l.m. entro le particelle 21-189-190-191-141 del foglio 40 del Comune di Molfetta in contrada Piscina Rossa, posto in prossimità dell'esistente nuovo serbatoio dell'abitato ed a circa 5,5 km dalla linea di costa.



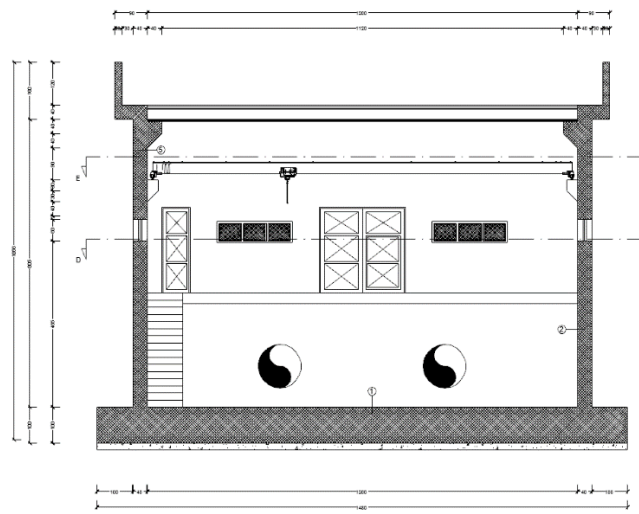
Rendering di inserimento paesaggistico

L'opera è costituita da una camera di manovra seminterrata e dalla struttura costituente il torrino vero e proprio, fuori terra. La fondazione è del tipo diretto a platea.

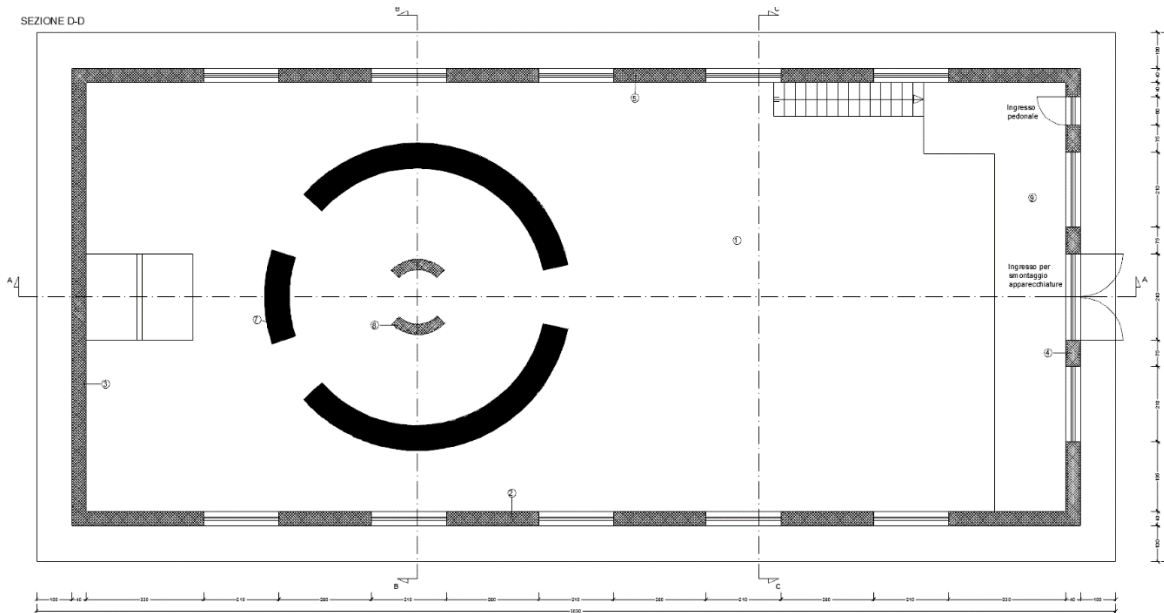
Il manufatto del torrino è costituito da una struttura anulare del diametro maggiore interno di 7,20 m e pareti dello spessore di 70cm. La sua altezza totale è pari a 21,15 m. Tale torrino è integrato all'interno di una camera di manovra che avrà forma rettangolare con dimensioni interne 27,50 m x 12,00 m. La copertura di tale camera di manovra è costituita da pannelli alveolari di lunghezza e larghezza variabile a seconda delle luci da coprire e dalle modalità produttive del fornitore.

Nel seguito si riportano alcune immagini relative.

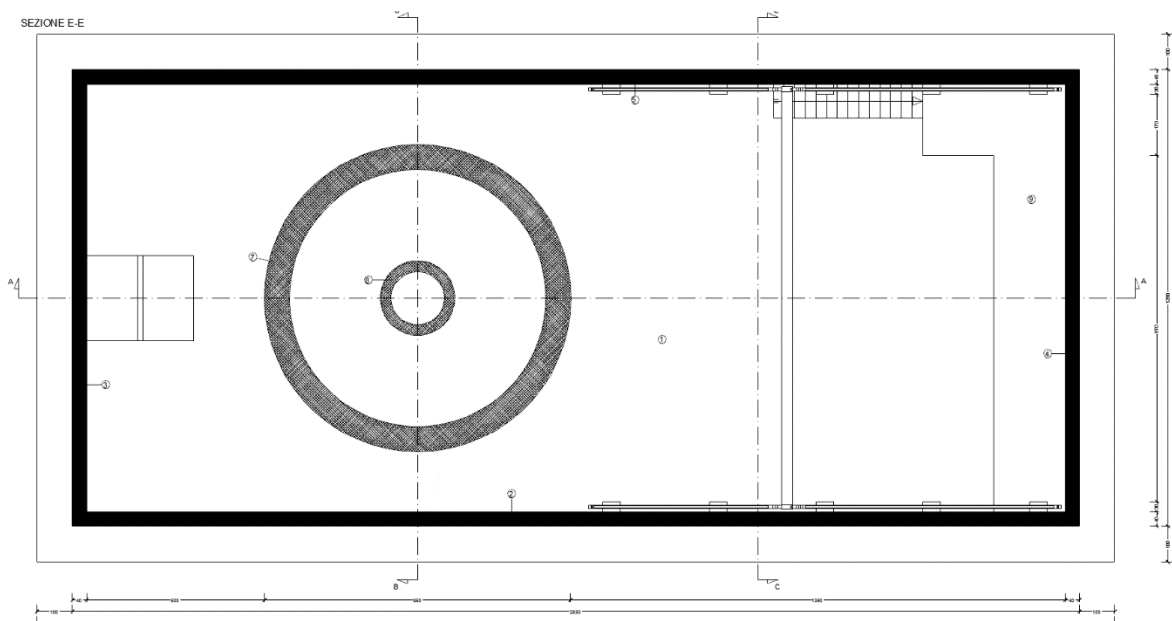
SEZIONE C-C

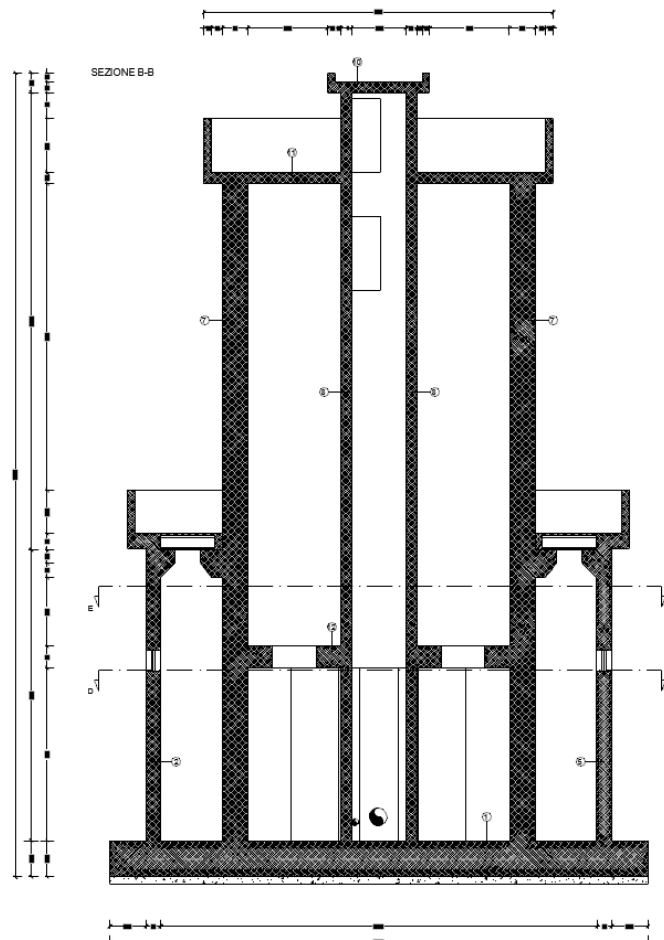
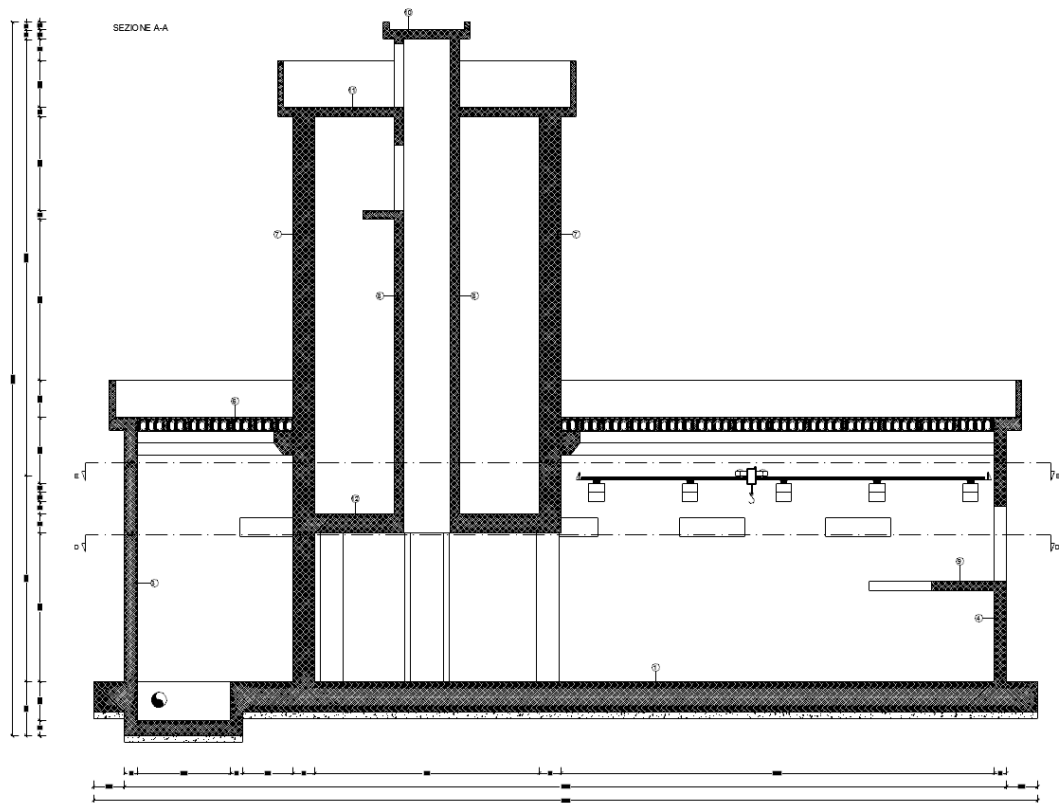


SEZIONE D-D



SEZIONE E-E





1.2.2 *Manufatti uniformati per il calcolo*

In seguito vengono riportate, in forma tabellare riassuntiva le coordinate, i valori di Ag/g e le altezze di tutte le opere strutturali che si sono uniformate in fase di calcolo: pozzetti di sfiato, pozzetti di scarico primari, pozzetti di scarico secondari, Pozzetti di Scarico Primario e Secondario, Pozzetti di Sfiato, Pozzetti di Sfiato attraversamento stradale, autostradali e ferroviario, Pozzetti di attraversamento stradale, autostradale e ferroviario senza sfioro.

Per ciascuna tipologia di opera, il calcolo e il pre dimensionamento strutturale è stato effettuato considerando un modello tipo le cui dimensioni, il rinterro e la zona sismica di riferimento (e quindi le accelerazione al suolo) risultassero cautelativamente l'inviluppo di tutte le medesime caratteristiche di ciascun manufatto previsto nella stessa categoria, in modo da ottenere un risultato a vantaggio di sicurezza che potesse essere valido per tutte le medesime opere. In tabella si riportano tutti i manufatti in progetto che sono stati calcolati procedendo nel modo appena descritto (per ciascuna categoria, si è evidenziata la progressiva della zona sismica più severa e l'altezza della struttura più alta di tutte, dati presi successivamente come base del modello calcolato).

POZZETTI DI SFIATO (dati di calcolo: 0,3326 a_g/g; h_{calc}=4,43m)

POZZETTI DI SFIATO			
Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
41	(41.258003, 16.310918, 89.878036) WGS84	0,3116	3,11
127	(41.244415, 16.342582, 96.607468) WGS84	0,3326	4,12
135	(41.243349, 16.345763, 99.274483) WGS84	0,3315	3,11
145	(41.241195, 16.351685, 98.156860) WGS84	0,3290	3,16
163	(41.237917, 16.361402, 100.042236) WGS84	0,3304	4,02
172	(41.236594, 16.364932, 98.112984) WGS84	0,3306	3,21
180	(41.235327, 16.368408, 96.050369) WGS84	0,3307	3,12
228	(41.225483, 16.387001, 103.301277) WGS84	0,3297	3,52
234	(41.224426, 16.391078, 99.386360) WGS84	0,3292	4,09
258	(41.220036, 16.400836, 100.942665) WGS84	0,3289	3,74
260V	(41.219463, 16.401834, 100.717659) WGS84	0,3289	3,23
264	(41.21822, 16.404248, 100.822121) WGS84	0,3291	3,10
269	(41.217147, 16.406286, 100.784668) WGS84	0,3293	3,90
291V	(41.212028, 16.41546, 106.450256) WGS84	0,3182	3,16
306	(41.212025, 16.420604, 101.764534) WGS84	0,3169	3,62
314	(41.212054, 16.424086, 97.143753) WGS84	0,3157	3,81
323	(41.210533, 16.428838, 98.674561) WGS84	0,3144	4,00
375	(41.199649, 16.451033, 103.302353) WGS84	0,3069	3,10
415	(41.193406, 16.465495, 109.819229) WGS84	0,3126	3,81
477	(41.185756, 16.492591, 105.051094) WGS84	0,2874	3,64
500	(41.181659, 16.500058, 104.176689) WGS84	0,2829	3,10
519	(41.176354, 16.508287, 106.430222) WGS84	0,2784	3,40
529	(41.174716, 16.511216, 105.819420) WGS84	0,2769	3,70
543	(41.174137, 16.517042, 105.709679) WGS84	0,2737	3,77
558	(41.174357, 16.524976, 101.425385) WGS84	0,2694	3,39
561	(41.174026, 16.526146, 100.344063) WGS84	0,2688	3,30
589	(41.169471, 16.538848, 100.874954) WGS84	0,2643	3,65
603V	(41.1674, 16.542968, 102.671181) WGS84	0,2636	3,89
610	(41.166488, 16.546112, 103.571007) WGS84	0,2339	3,50
624	(41.164355, 16.553139, 98.311623) WGS84	0,2326	3,54
628V	(41.163709, 16.55594, 98.892014) WGS84	0,2317	4,21
660	(41.167644, 16.567196, 89.225082) WGS84	0,2262	3,33
691V	(41.16533, 16.579657, 89.778671) WGS84	0,2197	3,20
714	(41.166412, 16.588315, 79.793228) WGS84	0,2151	3,48
742V	(41.16662, 16.602647, 75.453255) WGS84	0,2090	4,19

POZZETTI DI SFIATO

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
756	(41.16609, 16.607502, 73.560234) WGS84	0,2077	3,61
762	(41.166064, 16.611103, 70.876007) WGS84	0,2071	3,11
802	(41.160364, 16.623693, 74.644180) WGS84	0,1807	3,95
824V	(41.158026, 16.631165, 73.185768) WGS84	0,1785	3,98
837	(41.154252, 16.636449, 77.953217) WGS84	0,1767	3,89
865V	(41.149747, 16.642063, 83.878357) WGS84	0,1745	4,43
904	(41.146879, 16.660613, 77.522026) WGS84	0,1666	3,69
909	(41.14641, 16.662062, 78.445847) WGS84	0,1659	3,72
926	(41.139809, 16.667083, 88.177536) WGS84	0,1626	3,36
930	(41.138646, 16.668413, 89.318947) WGS84	0,1626	3,04
963V	(41.133967, 16.678402, 90.760803) WGS84	0,1531	3,07
1010	(41.13514, 16.698961, 75.213882) WGS84	0,1475	3,00
1018V	(41.134779, 16.702325, 74.260086) WGS84	0,1466	3,25
1134	(41.105009, 16.722554, 87.845963) WGS84	0,1418	3,90
1144	(41.101617, 16.721507, 87.040375) WGS84	0,1419	4,23
1173	(41.095248, 16.723627, 93.474777) WGS84	0,1410	4,07
1221	(41.08686, 16.743985, 94.860298) WGS84	0,1327	3,91

POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO 6,20m<h≤10,85m (dati di calcolo: 0,2771 ag/g; h_{calc}=10,85m)

POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO 6,20m<h≤10,85m

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
527	(41.174859, 16.510723, 102.548607) WGS84	0,2771	6,78
578	(41.171248, 16.533892, 100.320518) WGS84	0,2657	10,85
713	(41.16638, 16.588036, 79.604652) WGS84	0,2152	10,69

POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO 5,60m<h≤6,20m (dati di calcolo: 0,2926 ag/g; h_{calc}=6,20m)

POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO 5,60m<h≤6,20m

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
460	(41.189462, 16.485199, 89.288811) WGS84	0,2926	6,12
1141	(41.10245, 16.721915, 75.851181) WGS84	0,1418	6,20

POZZETTI DI SCARICO SECONDARIO (dati di calcolo: 0,3154 ag/g; h_{calc}=9,41m)

POZZETTO DI SCARICO SECONDARIO h=9,41m

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
92	(41.252626, 16.337381, 75.942825) WGS84	0,3154	9,41

POZZETTI DI SCARICO SECONDARI 6,60m≤h≤7,10m (dati di calcolo: 0,3290 ag/g; h_{calc}=7,10m)

POZZETTI DI SCARICO SECONDARI 6,60m≤h≤7,10m			
Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
239	(41.223845, 16.393331, 97.112190) WGS84	0,3290	7,10
608	(41.166827, 16.544953, 101.250031) WGS84	0,2634	6,88
658	(41.167797, 16.56667, 90.260933) WGS84	0,2265	6,85

POZZETTI DI SCARICO SECONDARI 5,60m<h<6,60m (dati di calcolo: 0,3307 ag/g; h_{calc}=6,50m)

POZZETTI DI SCARICO SECONDARI 5,60m<h<6,60m			
Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
169	(41.237223, 16.363301, 94.410187) WGS84	0,3306	5,82
178	(41.23544, 16.367839, 94.529205) WGS84	0,3307	5,83
340	(41.207849, 16.436308, 97.386452) WGS84	0,3119	6,30
388V	(41.196994, 16.457282, 104.900185) WGS84	0,3050	6,50
506	(41.179745, 16.502773, 104.109840) WGS84	0,2814	6,36
554	(41.174656, 16.522948, 98.587601) WGS84	0,2704	5,99
617	(41.165179, 16.550082, 98.564659) WGS84	0,2333	6,50
741	(41.167024, 16.601403, 73.681190) WGS84	0,2094	5,87
744	(41.166382, 16.60401, 75.380226) WGS84	0,2086	6,20
845	(41.153663, 16.638209, 75.676628) WGS84	0,1760	6,00
1181	(41.09376, 16.726245, 94.059311) WGS84	0,1402	6,30

POZZETTI DI SCARICO PRIMARI E SECONDARIO h≤5,60m (dati di calcolo: 0,3322 ag/g; h_{calc}=5,60m)

POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO E SECONDARIO h≤5,60m			
Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
23	(41.260112, 16.305208, 80.381386) WGS84	0,3122	5,40
130	(41.24406, 16.343612, 95.048157) WGS84	0,3322	5,27
143	(41.241526, 16.35087, 96.851151) WGS84	0,3289	4,99
155	(41.239307, 16.357253, 97.786842) WGS84	0,3300	5,52
192	(41.233584, 16.372903, 95.933250) WGS84	0,3306	5,43
230	(41.225225, 16.388031, 101.853645) WGS84	0,3296	5,12
259	(41.219754, 16.401298, 101.136520) WGS84	0,3289	4,52
261	(41.219447, 16.401898, 100.511932) WGS84	0,3289	4,39
268	(41.217454, 16.4059, 100.670334) WGS84	0,3292	4,39
276	(41.21571, 16.408561, 97.895744) WGS84	0,3296	5,13
304	(41.212019, 16.419767, 102.696198) WGS84	0,3172	4,05
312	(41.212019, 16.423168, 95.743736) WGS84	0,3161	4,92
322	(41.210795, 16.428179, 99.068985) WGS84	0,3146	5,23
487	(41.183689, 16.496314, 97.472740) WGS84	0,2851	5,32
535	(41.174168, 16.514355, 104.439445) WGS84	0,2752	5,60
560	(41.174139, 16.525749, 100.077782) WGS84	0,2690	4,77
594	(41.168524, 16.540511, 101.200233) WGS84	0,2640	4,01
625	(41.164226, 16.553762, 96.455414) WGS84	0,2324	5,13

POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO E SECONDARIO h≤5,60m

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
673	(41.166542, 16.571224, 89.252838) WGS84	0,2242	5,41
757	(41.166039, 16.607963, 72.929550) WGS84	0,2076	4,13
768	(41.165675, 16.613946, 69.859390) WGS84	0,1822	4,36
818	(41.158494, 16.629551, 73.002480) WGS84	0,1790	4,57
828	(41.15694, 16.633295, 72.495789) WGS84	0,1778	4,66
890	(41.149318, 16.654037, 76.295212) WGS84	0,1695	4,35
907V	(41.146709, 16.661096, 77.582085) WGS84	0,1664	4,17
911	(41.145917, 16.662877, 77.534355) WGS84	0,1655	4,57
927	(41.139454, 16.667544, 88.674500) WGS84	0,1623	4,41
951V	(41.136836, 16.674904, 88.349808) WGS84	0,1583	4,37
1000	(41.1351, 16.694755, 74.405869) WGS84	0,1486	5,54
1017	(41.134924, 16.702089, 73.577393) WGS84	0,1467	4,19
1053	(41.128388, 16.71613, 71.371834) WGS84	0,1432	4,84
1151V	(41.099543, 16.721013, 79.078033) WGS84	0,1419	4,34
1236	(41.082812, 16.744645, 92.577293) WGS84	0,1321	4,72

POZZETTI DI SCARICO PRIMARI E SECONDARIO h≤5,60m (dati di calcolo: 0,3170 ag/g; h_{calc}=5,40m)

POZZETTI DI PRESA IN CARICO

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
305	(41.212037, 16.420454, 102.007172) WGS84	0,3170	3,93
390	(41.196949, 16.457659, 105.356857) WGS84	0,3049	5,39
862V	(41.150148, 16.641303, 83.789459) WGS84	0,1748	4,23
1069	(41.125935, 16.71914, 74.965019) WGS84	0,1425	5,14

VASCA DI ACCUMULO ACQUE DI LAVAGGIO CONDOTTE (dati di calcolo: 0,3133 ag/g; h_{calc}=3,80m)

VASCA DI ACCUMULO ACQUE LAVAGGIO CONDOTTE

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
Trani	(41.218606, 16.422846, 88.889450) WGS84	0,3133	3,80
Bisceglie	(41.197468, 16.45775, 105.095665) WGS84	0,3048	3,80
Palese/S.S.	(41.12486, 16.716203, 74.803314) WGS84	1,1432	3,80

POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE E AUTOSTRADALE $5,45m \leq h \leq 6,75m$
(dati di calcolo: $0,3174 \text{ ag/g}$; $h_{\text{calc}}=6,75m$)

POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE E AUTOSTRADALE $5,45m \leq h \leq 6,75m$

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
109	(41.249135, 16.339433, 88.173584) WGS84	0,3174	5,45
1168	(41.095992, 16.72235, 94.208076) WGS84	0,1414	5,23
1155	(41.099365, 16.72096, 82.747841) WGS84	0,1419	6,75

POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE E AUTOSTRADALE $h \leq 5,15m$
(dati di calcolo: $0,3306 \text{ ag/g}$; $h_{\text{calc}}=5,15m$)

POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE, AUTOSTRADALE E FERROVIARIO $h \leq 5,15m$

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
7'	(41.261506, 16.298213, 93.339378) WGS84	0,3138	4,26
97	(41.252486, 16.338806, 80.219414) WGS84	0,3161	4,15
185	(41.234662, 16.370439, 96.448723) WGS84	0,3306	5,15
208	(41.231179, 16.380118, 98.143028) WGS84	0,3299	4,44
297	(41.211986, 16.416182, 107.422592) WGS84	0,3181	4,13
438	(41.191359, 16.475338, 105.607742) WGS84	0,3062	4,89
490	(41.183571, 16.496815, 97.839340) WGS84	0,2848	4,89
536	(41.174095, 16.514329, 104.556343) WGS84	0,2752	5,05
597	(41.168321, 16.541177, 101.602722) WGS84	0,2639	4,83
667	(41.166962, 16.569519, 90.970627) WGS84	0,2251	5,06
751	(41.16609, 16.606252, 73.688713) WGS84	0,2080	4,50
985	(41.135381, 16.688847, 78.524155) WGS84	0,1503	4,08
1061	(41.127572, 16.717246, 72.380638) WGS84	0,1429	4,43
1087	(41.118965, 16.722753, 77.989708) WGS84	0,1419	4,93
1095	(41.118052, 16.722506, 79.332870) WGS84	0,1420	4,69
1097	(41.117704, 16.722656, 78.161247) WGS84	0,1420	4,69

POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE, AUTOSTRADALE E FERROVIARIO SENZA SFIORO (dati di calcolo: 0,3306 ag/g; h_{calc}=5,55m (parte interrata 4,8m, parte fuori terra 0,75m))
5,35m=4,6+altezza fuori terra=0,75m; 5,05m=4,8+altezza fuori terra=0,25m

POZZETTI DI ATTRAVERSAMENTO STRADALE, AUTOSTRADALE E FERROVIARIO SENZA SFIORO

Picchetti	Coordinate	Ag/g (SLV)	h (m)
5'	(41.261538, 16.297633, 96.037926) WGS84	0,3140	4,20
99	(41.252228, 16.338978, 82.749496) WGS84	0,3163	4,07
114	(41.248522, 16.339186, 89.222832) WGS84	0,3174	4,60
184	(41.234856, 16.370236, 97.094070) WGS84	0,3306	4,98
209	(41.231122, 16.380355, 97.979553) WGS84	0,3299	4,47
296	(41.212002, 16.415892, 107.305290) WGS84	0,3181	3,84
440	(41.191278, 16.475574, 106.365578) WGS84	0,3061	5,17
492	(41.183531, 16.497083, 99.104843) WGS84	0,2847	5,02
537	(41.174055, 16.514565, 106.155586) WGS84	0,2750	5,08
598	(41.168232, 16.54137, 101.328094) WGS84	0,2639	4,74
668	(41.166897, 16.56969, 90.622070) WGS84	0,2250	5,35
752	(41.16609, 16.606434, 73.810692) WGS84	0,2080	4,42
984	(41.135341, 16.688546, 79.480446) WGS84	0,1504	4,08
1055	(41.127895, 16.716549, 71.988602) WGS84	0,1431	5,05
1089	(41.118602, 16.722656, 79.132057) WGS84	0,1419	4,86
1096	(41.11789, 16.72256, 78.156654) WGS84	0,1420	4,69
1098	(41.117599, 16.722753, 78.493813) WGS84	0,1419	4,69
1156	(41.099114, 16.720874, 86.265434) WGS84	0,1419	4,52
1169	(41.095927, 16.72249, 94.307533) WGS84	0,1413	5,17

TABELLA RIASSUNTIVA

Manufatti uniformati per il calcolo	Ag/g (SLV)	h (m)
POZZETTI DI SFIORO	0,3326	4,45
POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO 6,20m<h≤10,85m	0,2771	10,85
POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO 5,60m<h≤6,20m	0,2926	6,20
POZZETTO DI SCARICO SECONDARIO h=9,41m	0,3154	9,41
POZZETTI DI SCARICO SECONDARI 6,60m≤h≤7,10m	0,3290	7,10
POZZETTI DI SCARICO SECONDARI 5,60m<h<6,60m	0,3307	6,50
POZZETTI DI SCARICO PRIMARIO E SECONDARIO h≤5,60m	0,3322	5,60
POZZETTI DI PRESA IN CARICO	0,3170	5,40
VASCA DI ACCUMULO ACQUE LAVAGGIO CONDOTTE	0,3133	3,80
POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE E AUTOSTRADALE 5,45m≤h≤6,75m	0,3174	6,75
POZZETTI DI SFIORO ATTRAVERSAMENTO STRADALE, AUTOSTRADALE E FERROVIARIO h≤5,15m	0,3306	5,15
POZZETTI DI ATTRAVERSAMENTO STRADALE, AUTOSTRADALE E FERROVIARIO SENZA SFIORO	0,3306	5,55

1.3 Inquadramento Normativo

Le verifiche sono state condotte in accordo alle normative di seguito riportate:

- **Legge 5-11-1971 n° 1086** - “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”
- **L. n° 64 del 2 febbraio 1974** - “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”
- **DM 17-01-2018** - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- **Circolare 21/01/2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- **EN 1090-1, EN 1090-2, EN 1090-3;**
- **Eurocodice 0** – Criteri generali di progettazione strutturale
 - **UNI EN 1990:2006**
- **Eurocodice 1** – Azioni sulle strutture
 - **UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1:** Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici
 - **UNI EN 1991-1-3:2004 Parte 1-3:** Azioni in generale - Carichi da neve
 - **UNI EN 1991-1-4:2005 Parte 1-4:** Azioni in generale - Azioni del vento
 - **UNI EN 1991-1-5:2004 Parte 1-5:** Azioni in generale - Azioni termiche
 - **UNI EN 1991-4:2006 Parte 4:** Azioni su silos e serbatoi
- **Eurocodice 2** – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
 - **UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1:** Regole generali e regole per gli edifici
 - **UNI EN 1992-3:2006 Parte 3:** Strutture di contenimento liquidi
- **Eurocodice 7** – Progettazione geotecnica
 - **UNI EN 1997-1:2005 Parte 1:** Regole generali
- **Eurocodice 8** – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
 - **UNI EN 1998-1:2005 Parte 1:** Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
 - **UNI EN 1998-4:2006 Parte 4:** Silos, serbatoi e condotte

2. PRESTAZIONI DI PROGETTO, VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E QUALITÀ DEI MATERIALI

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente d'uso, sono stati adottati i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2016 ed UNI 11104:2016 nonché al Disciplinare Tecnico AQP delle opere in cemento armato.

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate con riferimento ai disciplinari tecnici redatti dalla Stazione Appaltante AQP.

In particolare, per quanto riguarda la scelta della Vita Nominale, Classe d'Uso e qualità e dosatura delle strutture in c.a., è stato preso come riferimento il *Disciplinare per la fornitura e la posa in opera di calcestruzzo armato per strutture adibite al contenimento di acque potabili – Edizione Maggio 2018* (allegato al progetto).

Per tutte le caratteristiche dei materiali e le indicazioni di posa in opera non riportate e dettagliate in relazione, e/o per maggiori approfondimenti, si rimanda pertanto ai suddetti documenti.

Nel presente progetto si è previsto l'impiego di conglomerato cementizio a resistenza confezionato secondo le norme susseguenti la legge 5 novembre 1971 n. 1086 tale da corrispondere alla classe di resistenza richiesta (calcestruzzi a prestazione garantita).

2.1 Classi di esposizione

Per le opere della presente relazione, vista anche la loro importanza strategica, si adotta quanto segue:

- Strutture a contatto con i liquidi
CLASSE D'ESPOSIZIONE: **XC4+XD2**
- Strutture NON a contatto con i liquidi
CLASSE D'ESPOSIZIONE: **XC4**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 4.1.III (DM18): Descrizione delle condizioni ambientali

Come indicato nella tabella precedente (riportata nel DM18) le strutture non a contatto con i liquidi si trovano in condizioni ambientali *Aggressive*, mentre quelle a contatto con i liquidi invasati si trovano in condizioni *Molto Aggressive*.

Nella tabella 4.1.IV (riportata nel DM18) sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle condizioni ambientale e al tipo di armatura.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 4.1.IV (DM18): Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

2.2 Copriferro minimo e copriferro nominale

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento Δc_{dev} . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$.

Per individuare gli spessori adeguati dei copriferri si è fatto riferimento alla Circ. Min. II. TT. 21 gennaio 2019, n. 7 e alla norma per la progettazione del calcestruzzo Eurocodice 2 - Edizione novembre 2005 - SEZIONE 4 - "DURABILITA' E COPRIFERRI" tabella 4.4N "Valori del copriferro minimo $c_{min,dur}$ requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080" e tabella 4.5N "Valori del copriferro minimo, $c_{min,dur}$, requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da precompressione".

Per il calcestruzzo destinato alle opere in classe di esposizione XC4+XD2, si prescrive di operare in regime di "garanzia di qualità" secondo la quale l'esecuzione sia sottoposta ad un sistema di assicurazione della qualità nel quale sia inclusa un'accurata misura e verifica in opera degli spessori effettivi del copriferro, nonché del corretto posizionamento delle armature. In tal caso, la tolleranza di posizionamento delle armature Δc_{dev} , per le strutture gettate in opera, può essere quindi assunta pari a 5 mm.

Considerando che la vita nominale (V_N) delle opere è stata assunta pari a 100 anni, tenendo conto delle classi di esposizione ambientale delle opere, la consultazione delle già citate norme suggeriscono di adottare un copriferro minimo cautelativo pari a:

- $c_{min} = 45$ mm, pertanto $c_{nom} = 50$ mm (tutte le strutture)
- $c_{min} = 55$ mm, pertanto $c_{nom} = 60$ mm (pannelli alveolari in c.a.p.).

2.3 Vita Nominale e Classe d'Uso

Le opere sono tutte comprese nel **Tipo di costruzione 3** "Costruzioni con livelli di prestazione elevati" con Vita Nominale $V_n=100$. La **Classe d'Uso** è la **IV**, comprendente "Costruzioni con funzioni pubbliche e strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità...". La Vita di Riferimento è pari a $V_r=V_n \times C_u = 100 \times 2 = 200$ anni

2.4 Calcestruzzo

2.4.1 Caratteristiche

- *Calcestruzzo per sottofondazione:*
 - **Classe di resistenza** **C12/15**
 - **Resistenza cubica caratteristica** **$R_{ck} = 15$ N/mm²**
 - **Resistenza cilindrica caratteristica** **$f_{ck} = 12.5$ N/mm²**
 - **Coefficiente di dilatazione termica** **$\alpha_c = 12 \times 10^{-6}$ °C⁻¹**
 - **Classe di esposizione** **XC0**
- *Calcestruzzo per strutture a contatto con acqua potabile (Torrino circolare piezometrico, vasche e pozzetti che contengano liquidi ecc...)*
 - **Classe di resistenza** **C45/55**
 - **Resistenza cubica caratteristica** **$R_{ck} = 55$ N/mm²**
 - **Classe di esposizione** **XC4+XD2**
 - **Rapporto max a/c** **0,45**
 - **Contenuto minimo di cemento** **360 kg/m³**
 - **Diametro max aggregati** **$D_{max} = 32$ mm**

- | | |
|---|--|
| - Classe di consistenza | S4 |
| - Copriferro minimo | c_{nom} = 50mm (per produzione di elementi sottoposti a controllo della qualità di verifica dei copriferri) |
| - Copriferro minimo (pannelli alveolari) | c_{nom} = 60mm (per produzione di elementi sottoposti a controllo della qualità di verifica dei copriferri) |
| - Resistenza cilindrica caratteristica | f_{ck} = 45.6N/mm² |
| - Resistenza a trazione media | f_{ctm} = 3.8 N/mm² |
| - Modulo elastico | E_c = 36406 N/mm² |
| - Coefficiente di dilatazione termica | a_c = 12x10⁻⁶ °C⁻¹ |
- *Calcestruzzo per strutture NON a contatto con acqua potabile (Camera di manovra del torrino piezometrico, pozzetti che non contengano liquidi ecc...):*

- Classe di resistenza	C35/45
- Resistenza cubica caratteristica	R_{ck} = 45 N/mm²
- Classe di esposizione	XC4
- Rapporto max a/c	0,5
- Contenuto minimo di cemento	340 kg/m³
- Diametro max aggregati	D_{max} = 32 mm
- Classe di consistenza	S4
- Copriferro minimo	c_{nom} = 50 mm
- Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck} = 37.3N/mm²
- Resistenza a trazione media	f_{ctm} = 3.3 N/mm²
- Modulo elastico	E_c = 34077 N/mm²
- Coefficiente di dilatazione termica	a_c = 12x10⁻⁶ °C⁻¹
- OSSERVAZIONE**
- Dal punto di vista della durabilità, secondo l'EC2 e la UNI EN 206-1:2016 e UNI 11104:2016, la classe di resistenza minima è la C32/40, questa non più riportata nella nuova Norma Tecnica Italiana 2018, pertanto è stata scelta la classe immediatamente successiva ovvero la C35/45. Sono riportati i quantitativi minimi di a/c, cemento riferiti al prospetto 5 della UNI 11104:2016
- *Acciaio per c.a.:*

- Acciaio classe:	B450C
- Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk} ≥ 450 N/mm²
- Tensione caratteristica di rottura	f_{tk} ≥ 540 N/mm²
- Modulo elastico	E = 210.000 N/mm²
- Coefficiente di dilatazione termica lineare	a_c = 12x10⁻⁶ °C⁻¹
 - *Acciaio da carpenteria tipo S 355 (laminati a caldo)*

- Tensione di rottura a trazione:	f_t ≥ 510 N/ mm²
- Tensione di snervamento:	f_y ≥ 355 N/ mm²

3. AZIONI SULLE STRUTTURE

Nei paragrafi a seguire vengono riportate le azioni agenti sulle strutture sia nelle condizioni statiche che sismiche in accordo al DM 17/01/2018.

3.1 Permanenti strutturali (G_1) e non strutturali (G_2)

Per le parti strutturali e non strutturali le azioni permanenti sono valutate in base alle masse volumiche dei materiali di cui è composta la costruzione e/o alle loro caratteristiche geometriche.

Le azioni permanenti strutturali (G_1) vengono valutate automaticamente dal software di calcolo in base ai pesi unitari degli elementi strutturali utilizzati (si vedano i tabulati di calcolo di ciascuna struttura). Per il c.a. è stato usato un peso unitario pari a:

Calcestruzzo armato: $G_{1k} = 25,00 \text{ KN/m}^3$.

Per quanto riguarda il pacchetto di copertura del torrino piezometrico (costituito da pannelli prefabbricati alveolari):

- | | |
|--|--|
| 1) Carico proprio pannelli prefabbricati alveolari ($h = 40+5 \text{ cm}$) | $G_{1k} = 5,00 \text{ kN/m}^2$ |
| 2) Carico portato | |
| a) Masso a pendio in calcestruzzo alleggerito | 1,40 kN/m^2 |
| b) Sottofondo+guaina+coibente+barriera al vapore | 0,40 kN/m^2 |
| c) Manto di finitura autoprotetto con ardesia | 1,20 kN/m^2 |
| | $G_{2k} = 3,00 \text{ kN/m}^2$ |

Per quanto riguarda le scale in c.a. nella camera di manovra del torrino piezometrico si è considerato un carico permanente portato (finiture) pari a:

Carico portato scale: $G_{2k} = 1,30 \text{ KN/m}^2$.

Il Torrino Piezometrico è dotato di carroponete, le azioni trasmesse da esso sulle mensole sono pari a:

Scarico ruote carroponete: $G_{2k} = 50,00 \text{ KN}$.

Per gli altri manufatti, invece, non sono previsti carichi permanenti non strutturali.

3.2 Azioni da sovraccarichi

Le azioni soggette ai sovraccarichi interessano le coperture dei pozzetti e delle vasche, i solai, le coperture, le passerelle e le scale del torrino piezometrico.

Sovraccarichi scale e ballatoio	$q_k = 4,00 \text{ KN/m}^2$ (Cat. A – Ambienti ad uso residenziale – Scale comune, balconi, ballatoi).
Sovraccarichi solaio per manutenzione	$q_k = 1,00 \text{ KN/m}^2$ (Cat. H – Coperture – Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione).
Sovraccarichi carrabile (mezzi)	$q_k = 20,00 \text{ KN/m}^2$
Sovraccarichi apparecchi idrauliche	$q_k = 25,00 \text{ KN/m}^2$

3.3 Azione termica

L'azione termica non è considerata per le vasche in c.a., in quanto trattasi di strutture poco sensibili a tale azione. In quanto considerando l'elevata inerzia termica del calcestruzzo e eventualmente del liquido contenuto, non sono presenti azioni termiche lineari nello spessore, bensì esclusivamente uniformi, pertanto si generano esclusivamente deformazioni di tipo isostatico (deformazione omotetica).

3.4 Azione statica del liquido - Idrostatica

L'azione idrostatica del liquame è stata considerata per un'altezza pari al massimo pelo liquido raggiungibile nelle vasche, è stata inoltre considerata come un'azione di tipo variabile, considerando pertanto il corrispondente coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.5. Il peso dell'unità di volume di calcolo è

$$g_w = 10,00 \text{ KN/m}^3.$$

3.5 Azione statica del terreno - Litostatica

L'azione del terreno determina una spinta sulle pareti in c.a. del muro perimetrale di contenimento. Considerando che lo scavo avverrà con profilatura delle scarpate e l'intercapedine necessaria alle operazioni di montaggio dei casseri verrà riempita con materiale calcareo grossolano, a seguito di adeguato costipamento; la spinta indotta può considerarsi, a vantaggio di sicurezza, quella a riposo del terreno.

Considerando un angolo di attrito del materiale da riempimento di $\varphi' = 30^\circ$

il coefficiente di spinta a riposo è: $k_0 = 1 - \sin \varphi' = 0,5$

la spinta per unità di superficie, con z la profondità, è: $s_0 = z \times 0,5 \times 18,00 \text{ KN/m}^3 = z \times 9,00 \text{ KN/m}^2$

la sovraspinta dovuta al carico accidentale sul terreno ($q_k = 20,00 \text{ KN/m}^2$) risulta: $q_0 = 20,00 \times 0,5 = 10,00 \text{ kN/m}^2$

3.6 Azione della neve

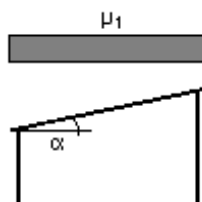
L'azione della neve è valutata, con riferimento al DM 17/01/2018.

- Zona Neve = II
- Topografia = Battuta dai venti: "Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti" - C_e (coeff. di esposizione al vento) = 0,90
- C_t (coeff. Termico) = 1,00
- $T_r = 50$ anni
- Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Copertura ad una falda:

- Angolo di inclinazione della falda = $\alpha = 0,00^\circ$
- Falda con presenza di barriera o impedimento allo scivolamento della neve.

Schema di carico:



$$\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q = 0,72 \text{ kN/m}^2.$$

3.7 Azione del vento

L'azione del vento è stata trascurata in quanto o assente (per strutture completamente interrato o quasi del tutto interrato) o certamente meno dimensionante rispetto a quella del sisma (con la quale la norma indica la non contemporaneità).

Per completezza, in sede di progettazione esecutiva, per il torrino piezometrico si potrà tenere in conto anche tale azione e combinarla con tutte le altre.

3.8 Azioni sismiche

L'analisi sismica della struttura di progetto è effettuata secondo analisi lineare statica per le opere distribuite (pozzetti e vasche) e un'analisi dinamica lineare per il Torrino in classe di duttilità non dissipativa.

L'azione sismica è stata valutata in conformità al punto 3.2 del D.M. 17/01/2018. In particolare, il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per gli stati limite per cui sono state effettuate le verifiche è il seguente:

- definizione della vita nominale e della classe d'uso della struttura, da cui discende la definizione del periodo di riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_o e T^*_c per gli stati limite SLV, in particolare al par. 3.2 delle NTC18 è riportato *"per i valori di a_g , F_o e T^*_c , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti"*;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo dei periodi T_C , T_B e T_D che individuano le diverse zone dello spettro,
- fattore di struttura $q=1.0$.

Gli spettri sono stati valutati singolarmente per ogni opera, per maggiori dettagli consultare i tabulati di calcolo specifici.

Il calcolo delle sovraspinte sismiche del terreno è stato eseguito con il metodo pseudostatico (NTC § 7.11.6).

In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le spinte delle terre, considerando le strutture rigide, non libere di traslare o di ruotare intorno al piede, e quindi prive di spostamenti (NT par. 7.11.6.2.1 e EC8-5 par.7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo, condizione che comporta il calcolo delle spinte in condizione sismica con l'incremento dinamico di spinta del terreno calcolato secondo la formula di Wood:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

In cui:

S = prodotto tra l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e l'amplificazione topografica (S_t) = $S_s \times S_t$

S_s = variabile a seconda della localizzazione sismica (DM18 tab. 3.2.IV)

$S_t = 1$

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il punto di applicazione della spinta che interessa la parete è posto $h_{tot}/2$, con "h_{tot}" altezza della parte di parete interrata.

Essendo "ΔP_d" la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sulla parete.

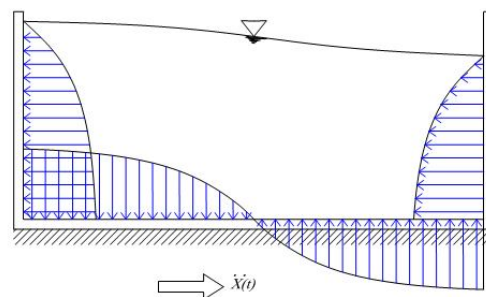
3.9 Spinte idrodinamiche

Per la progettazione delle pareti delle vasche e del torrio Piezometrico a contatto con l'acqua è stata considerata l'incremento sismico di pressione sulle pareti da parte del liquido contenuto.

Non essendoci nel DM18 degli approfondimenti specifici a riguardo, l'incremento sismico nelle opere in progetto è stato calcolato facendo riferimento agli studi di G. W.Housner ("Dynamic analysis of fluids in containers subjected to acceleration" e "The dynamic behavior water tanks" – 1963), approfonditi da altri scienziati come M.J.N. Priestley ("Seismic Design of Storage Tanks. Recommendations of a Study Group of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering" – 1986) e normati dall'Eurocodice 8 "UNI EN 1998-4:2006 Parte 4: Silos, serbatoi e condotte".

Alcune utili indicazioni sono state recepite anche dalla guida "IITK-Gsdma Guidelines for seismic design of liquid storage tanks" emanata nel 2007 dal National Information Centre of Earthquake Engineering a IIT Kanpur (India).

Nella figura seguente è mostrata la distribuzione delle pressioni dinamiche esercitate da un liquido sulle pareti e sul fondo di un contenitore soggetto ad una sollecitazione sismica.

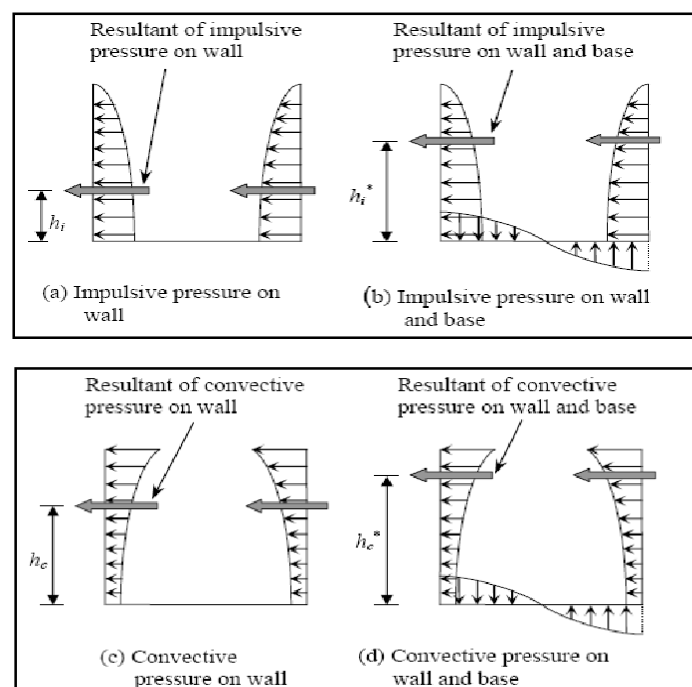


Come si può notare, sotto l'accelerazione laterale la massa liquida in prossimità del pelo libero non tende a traslare rigidamente con il contenitore, per cui, a contatto con le pareti, il liquido è costretto a spostarsi verticalmente, dando origine ad onde sismiche di tipo convettivo.

I periodi di queste oscillazioni, dette sloshing, sono tipicamente piuttosto elevati, fino a 6-10 secondi, e sono maggiormente influenzati dal livello degli spostamenti piuttosto che dalle accelerazioni del terreno.

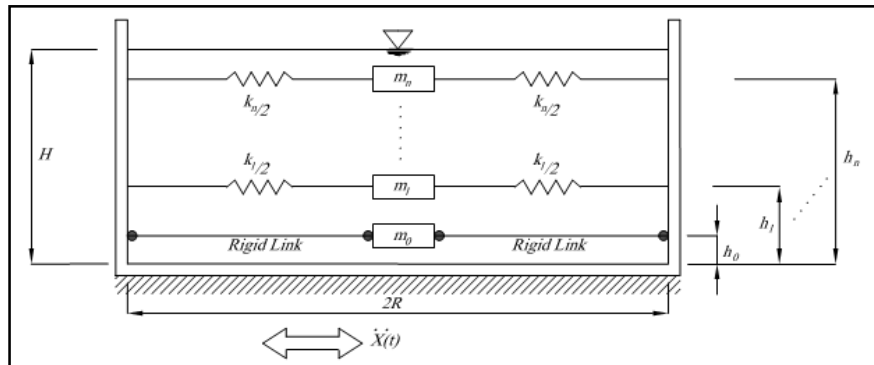
Vicino al fondo, invece, il liquido è costretto a muoversi in modo solidale con il contenitore (moto impulsivo), andando ad incrementare la massa inerziale della struttura.

Le due componenti sopraindicate dell'azione sismica danno origine a pressioni sulle pareti del contenitore il cui andamento è rappresentato nella figura seguente (come si può notare le pressioni in una determinata sezione hanno la stessa direzione, determinando compressione su una parete e aspirazione sulla parete opposta):



La percentuale della massa liquida che partecipa al moto convettivo dipende dal rapporto fra l'altezza H del pelo libero e la base B della vasca: più il rapporto si abbassa e maggiore è la percentuale, tanto che per valori molto bassi di H/B solo il 30 % del liquido staccato trasla solidamente alle pareti, il resto essendo coinvolto nei moti di sloshing.

In ragione di questo comportamento, per il progetto antisismico, si potrebbe considerare un modello di calcolo che, nell'ipotesi di comportamento rigido del contenitore (ipotesi molto calzante nel caso di strutture in c.a.), è quello riportato nella figura seguente:



La massa m_0 , detta massa impulsiva, è connessa rigidamente alle pareti e rappresenta la quantità di liquido che si sposta in modo solidale con il contenitore; i diversi moti convettivi, invece, sono modellati dalle sottomasse m_1, m_2, \dots, m_n , ciascuna collegata al guscio da una molla ideale la cui rigidezza è funzione della frequenza del moto di sloshing ad esso associato.

Sulla base di questa teoria sono state elaborate negli anni diverse formule risolutive più o meno complesse per calcolare le sovrappressioni sismiche del liquido sulle pareti del contenitore tra le quali quelle proposte in EC8-4 utilizzate in questa sede per i contenitori rigidi in calcestruzzo di forma sia circolare che rettangolare e implementati in appositi fogli di calcolo di cui si è data evidenza all'interno delle appendici alla presente relazione.

Per la vasca, sono state quindi calcolate tutte le grandezze richiamate nelle formule dell'EC8-4 (si sottolinea che ovviamente le accelerazioni sismiche presenti nelle formule sono state calcolate facendo riferimento agli spettri elastici di risposta indicati dalle NTC 2018):

- B = dimensione del contenitore rettangolare in direzione normale al sisma
- L = metà della dimensione del contenitore rettangolare nella direzione del sisma
- H = battente del liquido contenuto
- z = altezza (rispetto alla base) per la quale si cerca il valore di sovrappressione
- ζ = z/H
- l = distanza, misurata dal centro del rettangolo, rispetto alla quale calcolare le sovrappinte idrodinamiche (se l coincide con L , la superficie di riferimento è quella esterna)
- ξ = l/L
- γ = H/L
- ρ = densità del liquido contenuto = 1.000 daN/m^3
- m_i = il totale della massa impulsiva
- m_{c1} = il totale della massa convettiva (1° modo di sloshing)
- m_{c2} = il totale della massa convettiva (2° modo di sloshing)
- m_{c3} = il totale della massa convettiva (3° modo di sloshing)
- $a_g/g = A_g(t)$ = accelerazione orizz.le al suolo del sito
- $a_{gv}/g = A_v(t)$ = acceleraz. vert.le al suolo del sito (qualora sia tenuto in conto il sisma Z)
- ω_{Cn} = Frequenza di un oscillatore semplice equivalente utilizzato per il calcolo di T_{Cn}
- T_{Cn} = periodo n-mo di vibrazione della componente convettiva
- a_{c1}/g = accelerazione orizzontale calcolato sullo spettro elastico per $T = T_{C1}$
- d_{max} = innalzamento massimo del liquido in fase sismica
- altri parametri (tipo λ_1 e ψ_n riportati nella norma).

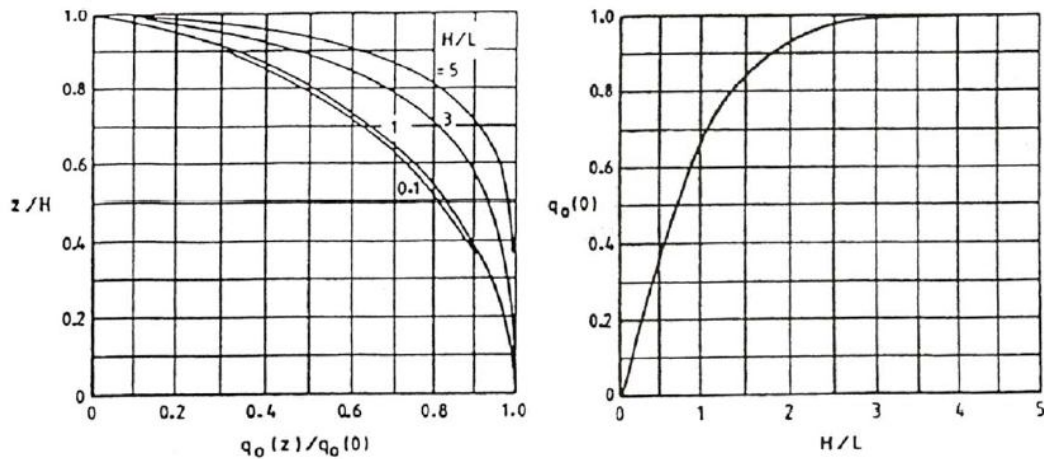
Giova ricordare che le accelerazioni corrispondenti ai periodi di vibrazione convettiva sono stati ricavati secondo norma utilizzando uno spettro elastico caratterizzato da un coefficiente di smorzamento viscoso uguale allo 0,5%.

Dopo aver risolto anche la funzioni I_1 (funzione modificata di Bessel di ordine 1) con la sua derivata I_1' e la funzione J_1 (funzione di Bessel di ordine 1), alla fine si è pervenuto alla quantificazione del campo cercato di sovrappressione (p) pari alla somma della componente impulsiva (p_i), convettiva (p_c) ed eventualmente di quella dovuta al sisma verticale (p_{vr}).

Nel caso di contenitori rettangolari p_i è uguale a

$$p_i(z, t) = q_0(z) \rho L A_\xi(t)$$

cioè è funzione del parametro q_0 che ha un andamento del tutto simile a quello corrispettivo (pari a $C_i H/R$) calcolato nel caso di contenitore cilindrico immettendo il valore di L al posto di R e rappresentato qui di seguito



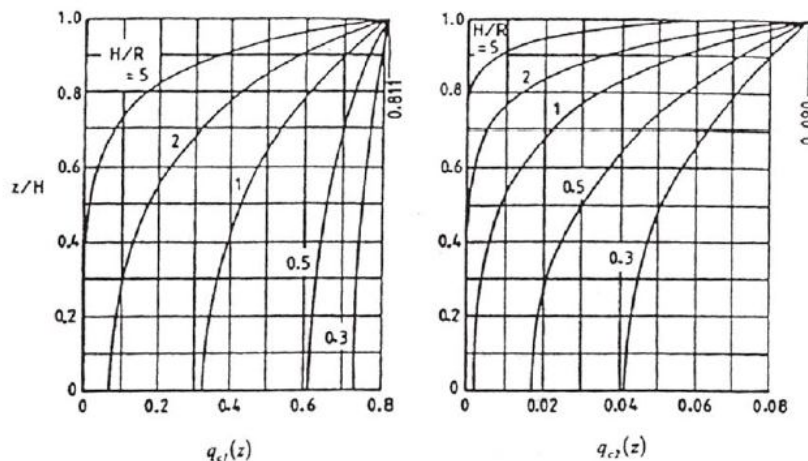
mentre p_c dipende dai periodi di vibrare del moto convettivo, ma soprattutto dal primo modo calcolato come di seguito

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{L/g}{\frac{\pi}{2} \tanh\left(\frac{\pi H}{2L}\right)} \right)^{1/2}$$

e, con riferimento a questo la componente convettiva è uguale a

$$p_{c1}(z, t) = q_{c1}(z) \rho L A_1(t)$$

cioè è funzione principalmente del parametro q_1 che ha un andamento rappresentato qui di seguito (insieme all'andamento di q_{c2})



Per quanto riguarda il calcolo delle altre grandezze in gioco, lo stesso EC8-4 afferma che possono essere mutate le formule adottate nel caso del contenitore cilindrico (immettendo il valore di L al posto di R) ottenendo una approssimazione massima appena del 15%.

La combinazione delle 3 componenti di sovrappressione idrosismica (p_i , p_c e p_v) è stata ottenuta, coerentemente con la norma, applicando il noto criterio dello “*square root of the sum of squares*” cioè facendo la radice quadrata della somma dei quadrati di ogni singola componente.

Siccome l'andamento delle sovrappressioni sismiche del liquido sulle pareti del suo contenitore è curvilineo, al fine di rendere operativo l'inserimento di tale carico all'interno del programma di calcolo strutturale utilizzato, esso è stato linearizzato in modo da ottenere un carico pressorio equivalente di forma trapezoidale (successivamente riportate per ciascuna opera) tale che la spinta totale e il momento totale calcolato rispetto alla base della parete risultino uguali (operativamente si è imposta l'equivalenza delle aree dei due diagrammi, quello reale e quello linearizzato, e l'uguaglianza dei momenti statici delle due aree rispetto alla linea di base).

Come già detto a proposito della sovrappinta sismica del terreno, nel modello di calcolo si è messo in conto che una certa componente sismica orizzontale, in X o Y, produce sempre incrementi di pressioni sismiche dovute al liquido con verso concorde al sisma; questo significa che pareti con il liquido posizionato sul lato di ingresso del sisma subiscono un incremento della spinta rispetto alla condizione statica, mentre le pareti speculari a queste subiranno contestualmente un decremento della spinta rispetto alla condizione statica.

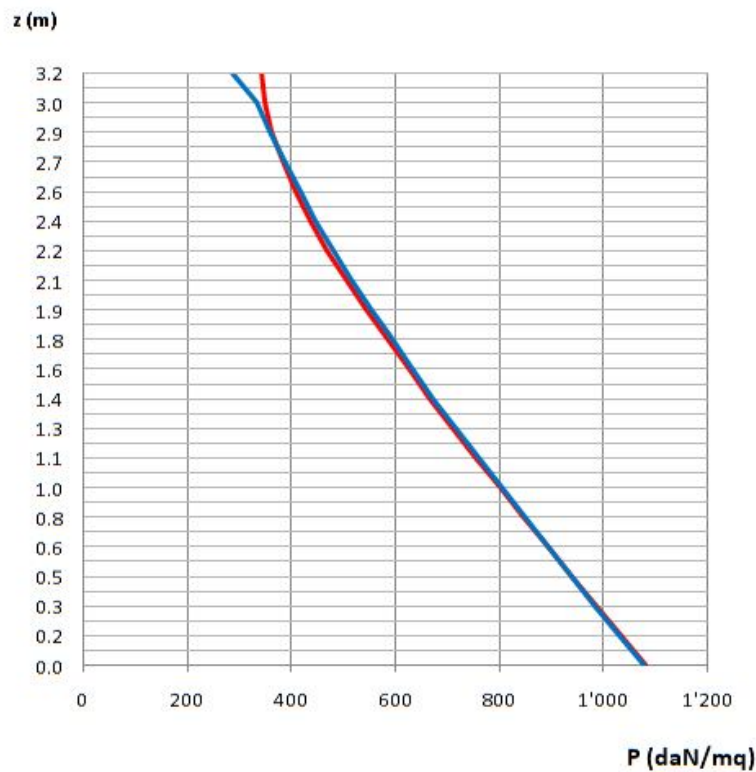
Questa situazione è quanto accade realmente ad una struttura investita da un'onda sismica, e rappresenta nella maggioranza dei casi la condizione più sfavorevole.

Con riferimento allo spettro di progetto allo SLV, l'ordinata spettrale di calcolo è scelta in corrispondenza dell'ancoraggio ($T=0$ sec)

- **Pozzetto di accumulo acque di lavaggio 4x4x3.2 – SLV – Dir X e Y**

DATI	
B =	4 m
L =	2 m
H =	3.2 m
γ =	1.60
l =	2 m
ξ =	1
ρ =	1'000 daN/m ³
a_g/g =	0.3133
a_{gv}/g =	0.31
λ_1 =	1.8112
T_{c1} =	2.28 sec
a_{c1}/g =	0.1200
Ψ_n =	0.33

RISULTATI		
m_{TOT} =	25'600 daN	100.0%
m_i =	18'065 daN	70.6%
m_{c1} =	7'701 daN	30.1%
m_{c2} =	219 daN	0.9%
m_{c3} =	52 daN	0.2%
T_{c1} =	2.28 sec	
Sovrappinta idrodinamica in cima		
P_H =	344 daN/m ²	
Sovrappinta idrodinamica alla base		
P_0 =	1'081 daN/m ²	
d_{max} =	27 cm	



SOVRASPINTA TOTALE

Curva reale

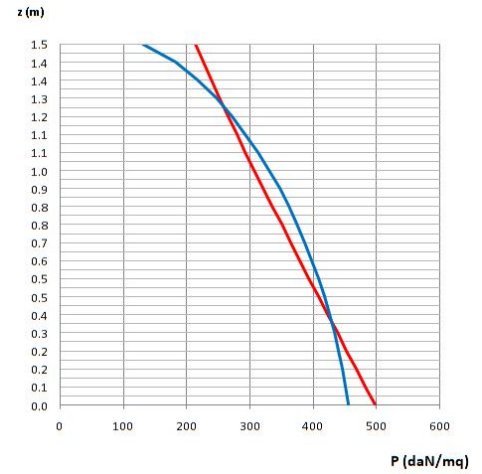
P =	1'075 daN/m ²	z =	0.0 m
P =	1'029 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	982 daN/m ²	z =	0.3 m
P =	936 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	891 daN/m ²	z =	0.6 m
P =	846 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	802 daN/m ²	z =	1.0 m
P =	757 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	714 daN/m ²	z =	1.3 m
P =	672 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	631 daN/m ²	z =	1.6 m
P =	591 daN/m ²	z =	1.8 m
P =	552 daN/m ²	z =	1.9 m
P =	515 daN/m ²	z =	2.1 m
P =	480 daN/m ²	z =	2.2 m
P =	445 daN/m ²	z =	2.4 m
P =	416 daN/m ²	z =	2.6 m
P =	386 daN/m ²	z =	2.7 m
P =	359 daN/m ²	z =	2.9 m
P =	331 daN/m ²	z =	3.0 m
P =	285 daN/m ²	z =	3.2 m

Trapezio approssimato

P =	1'081 daN/m ²	z =	0.0 m
P =	1'033 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	986 daN/m ²	z =	0.3 m
P =	939 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	892 daN/m ²	z =	0.6 m
P =	846 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	801 daN/m ²	z =	1.0 m
P =	756 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	711 daN/m ²	z =	1.3 m
P =	668 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	625 daN/m ²	z =	1.6 m
P =	584 daN/m ²	z =	1.8 m
P =	544 daN/m ²	z =	1.9 m
P =	506 daN/m ²	z =	2.1 m
P =	470 daN/m ²	z =	2.2 m
P =	438 daN/m ²	z =	2.4 m
P =	408 daN/m ²	z =	2.6 m
P =	384 daN/m ²	z =	2.7 m
P =	364 daN/m ²	z =	2.9 m
P =	350 daN/m ²	z =	3.0 m
P =	344 daN/m ²	z =	3.2 m

- Pozzetto di accumulo acque di lavaggio 5.9x1.85x1.5 – SLV - Dir X

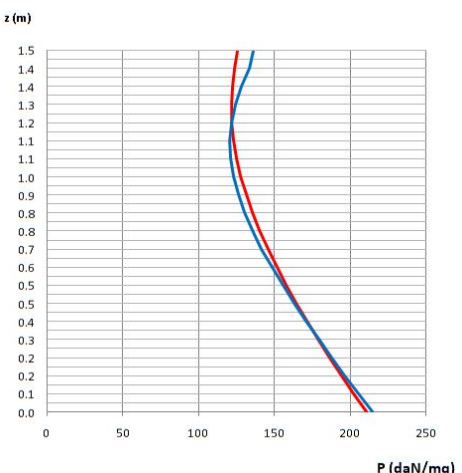
DATI		RISULTATI	
B =	1.85 m	$m_{TOT} =$	8'186 daN 100.0%
L =	2.95 m	$m_i =$	2'503 daN 30.6%
H =	1.5 m	$m_{c1} =$	5'662 daN 69.2%
$\gamma =$	0.51	$m_{c2} =$	218 daN 2.7%
l =	2.95 m	$m_{c3} =$	52 daN 0.6%
$\xi =$	1	$T_{c1} =$	3.38 sec
$\rho =$	1'000 daN/m ³	Sovraspinta idrodinamica in cima	
$a_g/g =$	0.1317	$P_H =$	214 daN/m ²
$a_{gv}/g =$	0.132	Sovraspinta idrodinamica alla base	
$\lambda_l =$	1.8112	$P_0 =$	498 daN/m ²
$T_{c1} =$	3.38 sec	$d_{max} =$	12 cm
$a_{c1}/g =$	0.0370		
$\Psi_n =$	3.06		



SOVRASPINTA TOTALE			
Curva reale		Trapezio approssimato	
P =	456 daN/m ²	z =	0.0 m
P =	451 daN/m ²	z =	0.1 m
P =	446 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	440 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	433 daN/m ²	z =	0.3 m
P =	425 daN/m ²	z =	0.4 m
P =	417 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	408 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	398 daN/m ²	z =	0.6 m
P =	387 daN/m ²	z =	0.7 m
P =	374 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	361 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	346 daN/m ²	z =	0.9 m
P =	330 daN/m ²	z =	1.0 m
P =	313 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	292 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	271 daN/m ²	z =	1.2 m
P =	246 daN/m ²	z =	1.3 m
P =	217 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	182 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	130 daN/m ²	z =	1.5 m
P =	498 daN/m ²	z =	0.0 m
P =	483 daN/m ²	z =	0.1 m
P =	468 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	453 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	438 daN/m ²	z =	0.3 m
P =	423 daN/m ²	z =	0.4 m
P =	408 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	393 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	379 daN/m ²	z =	0.6 m
P =	364 daN/m ²	z =	0.7 m
P =	350 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	335 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	321 daN/m ²	z =	0.9 m
P =	307 daN/m ²	z =	1.0 m
P =	293 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	279 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	265 daN/m ²	z =	1.2 m
P =	252 daN/m ²	z =	1.3 m
P =	239 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	226 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	214 daN/m ²	z =	1.5 m

• Pozzetto di accumulo acque di lavaggio 5.9x1.85x1.5 – SLV- Dir Y

DATI		RISULTATI		
B =	5.9 m	$m_{TOT} =$	8'186 daN	100.0%
L =	0.925 m	$m_i =$	5'808 daN	70.9%
H =	1.5 m	$m_{c1} =$	2'431 daN	29.7%
$\gamma =$	1.62	$m_{c2} =$	69 daN	0.8%
l =	0.925 m	$m_{c3} =$	16 daN	0.2%
$\xi =$	1	$T_{c1} =$	1.55 sec	
$\rho =$	1'000 daN/m ³	Sovraspinta idrodinamica in cima		
$a_g/g =$	0.1317	$P_H =$	126 daN/m ²	
$a_{gv}/g =$	0.132	Sovraspinta idrodinamica alla base		
$\lambda_l =$	1.8112	$P_0 =$	211 daN/m ²	
$T_{c1} =$	1.55 sec	$d_{max} =$	13 cm	
$a_{c1}/g =$	0.1240			
$\Psi_n =$	0.15			

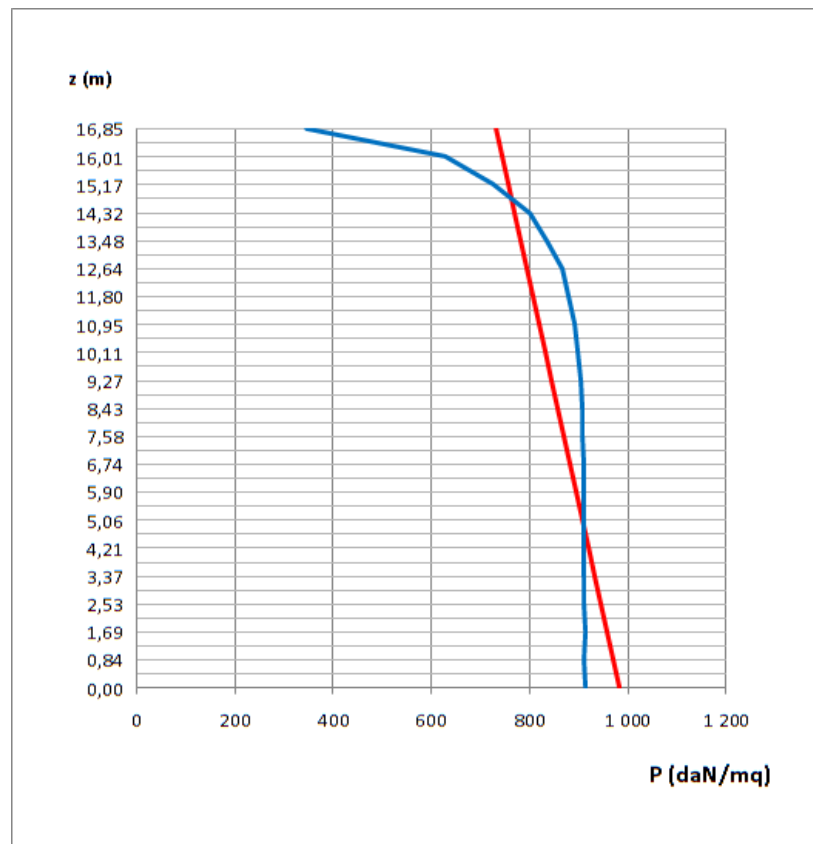


SOVRASPINTA TOTALE			
Curva reale		Trapezio approssimato	
P =	214 daN/m ²	z =	0.0 m
P =	205 daN/m ²	z =	0.1 m
P =	196 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	188 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	179 daN/m ²	z =	0.3 m
P =	171 daN/m ²	z =	0.4 m
P =	163 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	155 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	148 daN/m ²	z =	0.6 m
P =	142 daN/m ²	z =	0.7 m
P =	136 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	131 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	126 daN/m ²	z =	0.9 m
P =	123 daN/m ²	z =	1.0 m
P =	121 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	121 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	122 daN/m ²	z =	1.2 m
P =	124 daN/m ²	z =	1.3 m
P =	128 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	133 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	136 daN/m ²	z =	1.5 m
P =	211 daN/m ²	z =	0.0 m
P =	202 daN/m ²	z =	0.1 m
P =	194 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	186 daN/m ²	z =	0.2 m
P =	179 daN/m ²	z =	0.3 m
P =	171 daN/m ²	z =	0.4 m
P =	164 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	158 daN/m ²	z =	0.5 m
P =	151 daN/m ²	z =	0.6 m
P =	145 daN/m ²	z =	0.7 m
P =	140 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	135 daN/m ²	z =	0.8 m
P =	131 daN/m ²	z =	0.9 m
P =	128 daN/m ²	z =	1.0 m
P =	125 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	123 daN/m ²	z =	1.1 m
P =	122 daN/m ²	z =	1.2 m
P =	121 daN/m ²	z =	1.3 m
P =	122 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	123 daN/m ²	z =	1.4 m
P =	126 daN/m ²	z =	1.5 m

• Torrino Piezometrico – SLV

DATI	
R =	3,6 m
H =	16,85 m
γ =	4,68
r =	3,6 m
ξ =	1
ρ =	1 100 daN/m ³
a_g/g =	0,23
a_{gv}/g =	0,16
λ_1 =	1,8112
ω_{c1} =	2,22 Hz
T_{c1} =	2,83 sec
a_{c1}/g =	0,0730
Ψ_n =	0,00

RISULTATI		
m_{TOT} =	754 271 daN	100,0%
m_i =	678 270 daN	89,9%
m_{c1} =	78 032 daN	10,3%
m_{c2} =	2 204 daN	0,3%
m_{c3} =	525 daN	0,1%
T_{c1} =	2,83 sec	
Sovrappinta idrodinamica in cima		
P_H =	732 daN/m ²	
Sovrappinta idrodinamica alla base		
P_0 =	984 daN/m ²	
d_{max} =	30 cm	



SOVRASPINTA TOTALE

Curva reale		Trapezio approssimato	
P = 912 daN/m ²	z = 0,00 m	P = 984 daN/m ²	z = 0,00 m
P = 910 daN/m ²	z = 0,84 m	P = 971 daN/m ²	z = 0,84 m
P = 912 daN/m ²	z = 1,69 m	P = 959 daN/m ²	z = 1,69 m
P = 910 daN/m ²	z = 2,53 m	P = 946 daN/m ²	z = 2,53 m
P = 912 daN/m ²	z = 3,37 m	P = 933 daN/m ²	z = 3,37 m
P = 910 daN/m ²	z = 4,21 m	P = 921 daN/m ²	z = 4,21 m
P = 911 daN/m ²	z = 5,06 m	P = 908 daN/m ²	z = 5,06 m
P = 909 daN/m ²	z = 5,90 m	P = 896 daN/m ²	z = 5,90 m
P = 909 daN/m ²	z = 6,74 m	P = 883 daN/m ²	z = 6,74 m
P = 908 daN/m ²	z = 7,58 m	P = 870 daN/m ²	z = 7,58 m
P = 906 daN/m ²	z = 8,43 m	P = 858 daN/m ²	z = 8,43 m
P = 903 daN/m ²	z = 9,27 m	P = 845 daN/m ²	z = 9,27 m
P = 898 daN/m ²	z = 10,11 m	P = 833 daN/m ²	z = 10,11 m
P = 893 daN/m ²	z = 10,95 m	P = 820 daN/m ²	z = 10,95 m
P = 879 daN/m ²	z = 11,80 m	P = 807 daN/m ²	z = 11,80 m
P = 866 daN/m ²	z = 12,64 m	P = 795 daN/m ²	z = 12,64 m
P = 835 daN/m ²	z = 13,48 m	P = 782 daN/m ²	z = 13,48 m
P = 801 daN/m ²	z = 14,32 m	P = 770 daN/m ²	z = 14,32 m
P = 725 daN/m ²	z = 15,17 m	P = 757 daN/m ²	z = 15,17 m
P = 629 daN/m ²	z = 16,01 m	P = 744 daN/m ²	z = 16,01 m
P = 347 daN/m ²	z = 16,85 m	P = 732 daN/m ²	z = 16,85 m

4. DESCRIZIONE SOFTWARE DI CALCOLO E HARDWARE UTILIZZATI

4.1 Descrizione del software: SISMICAD (versione 12.14)

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili.

Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto.

Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

SPECIFICHE TECNICHE

- Denominazione del software: Sismicad 12.14
- Produttore del software: Concrete
- Concrete srl, via della Pieve, 15, 35121 PADOVA - Italy
- <http://www.concrete.it>
- Rivenditore: INFOTIME del Dr. Liso Vito - Via Virgilio, 171 - Triggiano (BA)
- Versione: 12.13
- Identificatore licenza: SN#5992918
- Intestatario della licenza: ACQUEDOTTO PUGLIESE SPA VIA COGNETTI, 36 BARI
- Versione regolarmente licenziata

SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE E CRITERI DI CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Il programma schematizza la struttura attraverso l'introduzione nell'ordine di fondazioni, poste anche a quote diverse, platee, platee nervate, plinti e travi di fondazione poggianti tutte su suolo elastico alla Winkler, di elementi verticali, pilastri e pareti in c.a. anche con fori, di orizzontamenti costituiti da solai orizzontali e inclinati (falde), e relative travi di piano e di falda; è ammessa anche l'introduzione di elementi prismatici in c.a. di interpiano con possibilità di collegamento in inclinato a solai posti a quote diverse.

I nodi strutturali possono essere connessi solo a travi, pilastri e pareti, simulando così impalcati infinitamente deformabili nel piano, oppure a elementi lastra di spessore dichiarato dall'utente simulando in tal modo impalcati a rigidezza finita.

I nodi appartenenti agli impalcati orizzontali possono essere connessi rigidamente ad uno o più nodi principali giacenti nel piano dell'impalcato; generalmente un nodo principale coincide con il baricentro delle masse.

Tale opzione, oltre a ridurre significativamente i tempi di elaborazione, elimina le approssimazioni numeriche connesse all'utilizzo di elementi lastra quando si richiede l'analisi a impalcati infinitamente rigidi.

Per quanto concerne i carichi, in fase di immissione dati, vengono definite, in numero a scelta dell'utente, condizioni di carico elementari le quali, in aggiunta alle azioni sismiche e variazioni termiche, vengono combinate attraverso coefficienti moltiplicativi per fornire le combinazioni richieste per le verifiche successive.

L'effetto di disassamento delle forze orizzontali, indotto ad esempio dai torcenti di piano per costruzioni in zona sismica, viene simulato attraverso l'introduzione di eccentricità planari aggiuntive le quali costituiscono ulteriori condizioni elementari di carico da cumulare e combinare secondo i criteri del paragrafo precedente.

Tipologicamente sono ammessi sulle travi e sulle pareti carichi uniformemente distribuiti e carichi trapezoidali; lungo le aste e nei nodi di incrocio delle membrature sono anche definibili componenti di forze e coppie concentrate comunque dirette nello spazio.

Sono previste distribuzioni di temperatura, di intensità a scelta dell'utente, agenti anche su singole porzioni di struttura. Il calcolo delle sollecitazioni si basa sulle seguenti ipotesi e modalità:

- travi e pilastri deformabili a sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente. Sono previsti coefficienti riduttivi dei momenti di inerzia a scelta dell'utente per considerare la riduzione della rigidezza flessionale e torsionale per effetto della fessurazione del conglomerato cementizio. È previsto un moltiplicatore della rigidezza assiale

dei pilastri per considerare, se pure in modo approssimato, l'accorciamento dei pilastri per sforzo normale durante la costruzione.

- le travi di fondazione su suolo alla Winkler sono risolte in forma chiusa tramite uno specifico elemento finito;
- le pareti in c.a. sono analizzate schematizzandole come elementi lastra-piastra discretizzati con passo massimo assegnato in fase di immissione dati;
- le pareti in muratura possono essere schematizzate con elementi lastra-piastra con spessore flessionale ridotto rispetto allo spessore membranale.
- I plinti su suolo alla Winkler sono modellati con la introduzione di molle verticali elastoplastiche. La traslazione orizzontale a scelta dell'utente è bloccata o gestita da molle orizzontali di modulo di reazione proporzionale al verticale.
- I pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente. Nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti.
- i plinti su pali sono modellati attraverso aste di rigidezza elevata che collegano un punto della struttura in elevazione con le aste che simulano la presenza dei pali;
- le piastre sono discretizzate in un numero finito di elementi lastra-piastra con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; nel caso di platee di fondazione i nodi sono collegati al suolo da molle aventi rigidezze alla traslazione verticale e richiesta anche orizzontale.
- La deformabilità nel proprio piano di piani dichiarati non infinitamente rigidi e di falde (piani inclinati) può essere controllata attraverso la introduzione di elementi membranali nelle zone di solaio.
- I disassamenti tra elementi asta sono gestiti automaticamente dal programma attraverso la introduzione di collegamenti rigidi locali.
- Alle estremità di elementi asta è possibile inserire svincolamenti tradizionali così come cerniere parziali (che trasmettono una quota di ciò che trasmetterebbero in condizioni di collegamento rigido) o cerniere plastiche.
- Alle estremità di elementi bidimensionali è possibile inserire svincolamenti con cerniere parziali del momento flettente avente come asse il bordo dell'elemento.
- Il calcolo degli effetti del sisma è condotto, a scelta dell'utente, con analisi statica lineare, con analisi dinamica modale o con analisi statica non lineare, in accordo alle varie normative adottate. Le masse, nel caso di impalcati dichiarati rigidi sono concentrate nei nodi principali di piano altrimenti vengono considerate diffuse nei nodi giacenti sull'impalcato stesso. Nel caso di analisi sismica vengono anche controllati gli spostamenti di interpiano.

CONVENZIONI RELATIVE ALLE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE

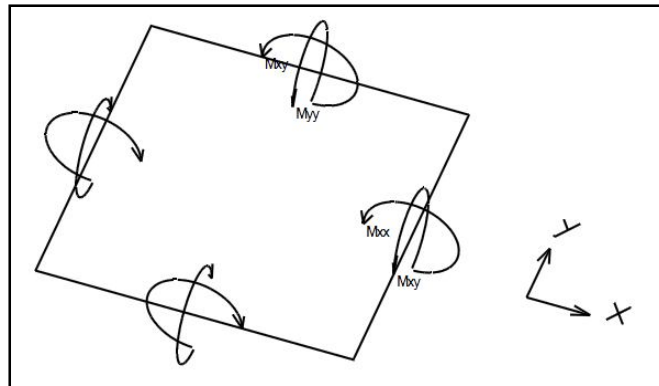
Con riferimento agli elementi piastra (platee, pareti, ecc..) e agli elementi asta (pilastri e travi), nel seguito si riportano le convenzioni adottate dal software di calcolo per individuare il sistema degli assi di riferimento locale e le caratteristiche delle sollecitazioni (Forze e Momenti).

- **ELEMENTI PIASTRA**

Le sollecitazioni, ed i relativi segni, sono definite in base alla giacitura della piastra.

- 1) Piastre non verticali (platee o piastre oblique)

Il sistema di riferimento nel quale sono espressi i parametri di sollecitazione è così definito: origine appartenente al piano dell'elemento, asse x e y contenuti nel piano dell'elemento e terzo asse (z) ortogonale al piano dell'elemento a formare una terna destrorsa. In particolare l'asse x ha proiezione in pianta parallela ed equiversa all'asse globale X. Nel caso di piastre orizzontali (caso più comune) gli assi x, y e z locali all'elemento sono paralleli ed equiversi agli assi X, Y e Z globali. In figura è mostrato un elemento infinitesimo di shell orizzontale con indicato il sistema di riferimento e i parametri di sollecitazione M_{xx} , M_{yy} , M_{xy} .



Si definiscono:

M_{xx} : momento flettente [Forza*Lunghezza/Lunghezza] agente sul bordo di normale x (verso positivo indicato dalla freccia in figura che tende le fibre inferiori);

M_{yy} : momento flettente [Forza*Lunghezza/Lunghezza] agente sul bordo di normale y (verso positivo indicato dalla freccia in figura che tende le fibre inferiori);

M_{xy} : momento torcente [Forza*Lunghezza/Lunghezza] agente sui bordi (verso positivo indicato dalla freccia in figura).

2) Piastre verticali (pareti)

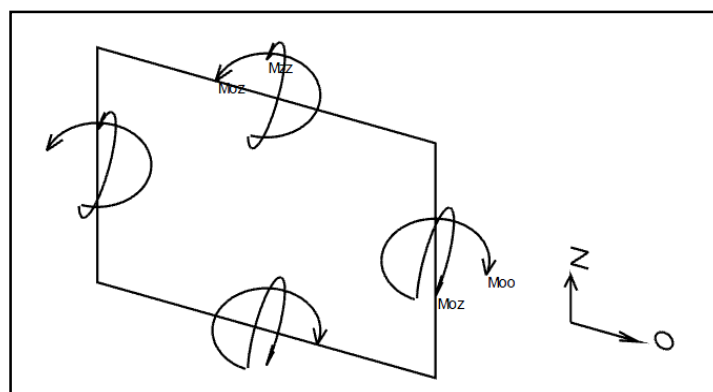
Il sistema di riferimento nel quale sono espressi i parametri di sollecitazione è così definito: origine appartenente al piano dell'elemento, asse O (ascisse) e z (ordinate) contenuti nel piano dell'elemento e terzo asse ortogonale al piano dell'elemento a formare una terna destrorsa.

In particolare

- l'asse O è orizzontale e concorde all'asse X globale o concorde a Y globale se l'insieme di shell è in un piano parallelo a Y-Z globali;

- l'asse z parallelo ed equiverso con l'asse Z globale.

In figura è mostrato un elemento infinitesimo di shell verticale con indicato il sistema di riferimento e i parametri di sollecitazione M_{oo} , M_{zz} , M_{oz} .



M_{oo} : momento flettente distribuito [Forza*Lunghezza/Lunghezza] applicato al bordo di normale parallela all'asse O (verso positivo indicato dalla freccia in figura che tende le fibre dalla parte del semiasse negativo del terzo asse);

M_{zz} : momento flettente distribuito [Forza*Lunghezza/Lunghezza] applicato al bordo di normale parallela all'asse z (verso positivo indicato dalla freccia in figura che tende le fibre dalla parte del semiasse negativo del terzo asse);

M_{oz} : momento "torcente" distribuito [Forza*Lunghezza/Lunghezza] applicato sui bordi (verso positivo indicato dalla freccia in figura).

• **ELEMENTI ASTA**

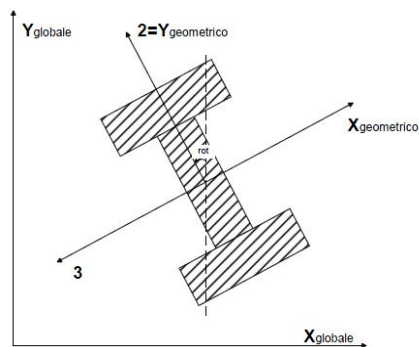
Il sistema degli assi locali dei pilastri e delle travi è definito dal software di calcolo distinguendo tre diverse categorie, a seconda che siano originate da:

- pilastri e colonne in c.a. o in acciaio;
- travi in acciaio di piano (o di falda o generiche);
- travi in c.a. di piano (o di falda o generiche).

Il sistema locale dell'asta, indicato con 1 (rosso) - 2 (verde) - 3 (blu), non sempre coincide con gli assi principali della sezione e rispetta la regola della mano destra.

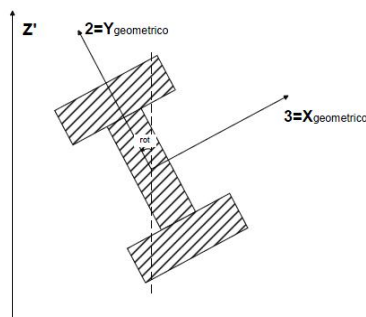
1) **Pilastri e colonne**

Per quanto riguarda i pilastri e colonne in c.a. o in acciaio, nella figura si considera l'asse 1 uscente dal foglio (l'osservatore guarda in direzione opposta a quella dell'asse 1):

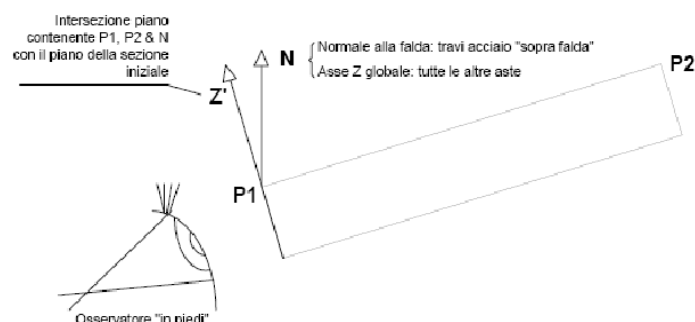


2) **Travi in acciaio di piano (o di falda o generiche)**

Per quanto riguarda le travi in acciaio di piano (o di falda o generiche), nella figura si considera l'asse 1 entrante nel foglio (l'osservatore guarda in direzione coincidente a quella dell'asse 1):



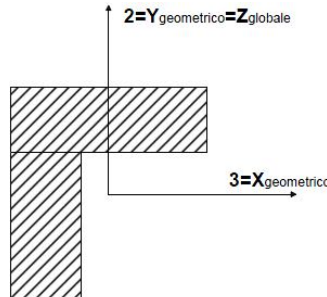
L'asse Z' è illustrato nella figura seguente dove: P1 è il punto di inserimento iniziale dell'asta, P2 è il punto di inserimento finale dell'asta, N è la normale al piano o falda di inserimento:



Z' è quindi l'intersezione tra il piano passante per P1, P2 contenente N e il piano della sezione iniziale dell'asta.

3) Travi in c.a. di piano (o di falda o generiche)

Per quanto riguarda le travi in c.a. di piano, nella figura si considera l'asse 1 entrante nel foglio (l'osservatore guarda in direzione coincidente a quella dell'asse 1). L'asse 2 è sempre verticale e quindi coincidente con l'asse Z globale nonché con l'asse y geometrico. L'asse 3 coincide con l'asse x geometrico.



I parametri di sollecitazione relativi alle aste possono quindi essere così definiti:

- F1 (N): sforzo normale nell'asta (positivo se di trazione);
- F2: sforzo di taglio agente nella direzione dell'asse locale 2;
- F3: sforzo di taglio agente nella direzione dell'asse locale 3;
- M1 (Mt): momento attorno all'asse locale 1; equivale al momento torcente;
- M2: momento attorno all'asse locale 2 (flettente nel piano verticale nel caso delle travi);
- M3: momento attorno all'asse locale 3;

La convenzione sui segni per i parametri di sollecitazione delle aste è la seguente: presa un'asta con nodo iniziale i e nodo finale f, asse 1 che va da i a f, assi 2 e 3, presi secondo le regole relative al sistema locale (già definite) sezionando l'asta in un punto e considerando la sezione sinistra del punto in cui si è effettuato il taglio (sezione da cui esce il versore asse 1), i parametri di sollecitazione sono positivi se hanno verso e direzione concordi con il sistema di riferimento locale dell'asta 1,2,3 (per i momenti si adotta la regola della mano destra).

VERIFICHE DELLE MEMBRATURE IN CEMENTO ARMATO

Le travi sono progettate e verificate a flessione retta e taglio; a richiesta è possibile la verifica per le sei componenti della sollecitazione. I pilastri ed i pali sono verificati per le sei componenti della sollecitazione; per gli elementi bidimensionali giacenti in un medesimo piano è disponibile la modalità di verifica che consente di analizzare lo stato di verifica nei singoli nodi degli elementi. Nelle verifiche (a presso flessione e punzonamento) è ammessa la introduzione dei momenti di calcolo modificati in base alle direttive dell'EC2, Appendice A.2.8.

Gli ancoraggi delle armature delle membrature in c.a. sono calcolati sulla base della effettiva tensione normale che ogni barra assume nella sezione di verifica distinguendo le zone di ancoraggio in zone di buona o cattiva aderenza. In particolare il programma valuta la tensione normale che ciascuna barra può assumere in una sezione sviluppando l'aderenza sulla superficie cilindrica posta a sinistra o a destra della sezione considerata; se in una sezione una barra assume per effetto dell'aderenza una tensione normale minore di quella ammissibile, il suo contributo all'area complessiva viene ridotto dal programma nel rapporto tra la tensione normale che la barra può assumere per effetto dell'aderenza e quella ammissibile. Le verifiche sono effettuate a partire dalle aree di acciaio equivalenti così calcolate che vengono evidenziate in relazione.

4.2 Descrizione dell'hardware

L'hardware aziendale (AQP s.r.l.) utilizzato è il seguente:

Processore Intel(R) Core(TM)
CPU i5-6500
@ 3.20GHz
RAM: 8GB

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni che possono agire su una struttura sono numerose e in generale la presenza di una azione non implica necessariamente la presenza o l'esclusione di altre azioni: le azioni variabili, considerate tra loro indipendenti possono manifestarsi anche contemporaneamente, ma la probabilità della presenza contemporanea di azioni variabili aventi tutte intensità significative è ovviamente ridotta.

Le azioni devono essere combinate in uno scenario di carico che massimizzi gli effetti sulla struttura. Una azione variabile non deve mai essere presa in conto se, in una data combinazione di carico, ha effetto "favorevole", cioè riduce l'effetto di carico (sollecitazione, deformazione, tensione) in esame.

Come riportato nel DM08, nel caso di strutture non precomprese le combinazioni ed i coefficienti da utilizzare sono:

<p>– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):</p> $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
<p>– Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:</p> $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
<p>– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:</p> $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
<p>– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:</p> $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
<p>– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):</p> $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$
<p>– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):</p> $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

I valori dei fattori di combinazione Ψ adottati nel calcolo delle strutture in progetto dipendono dal tipo di azione considerata, dalla destinazione d'uso della struttura e dalla situazione di progetto e sono riportati in ciascun tabulato di calcolo allegato al progetto stesso.

6. MODELLAZIONE FEM E VERIFICA

6.1 Pozzetti e vasche lungo l'adduttore

Per la modellazione strutturale è stato adottato un modello FEM agli elementi finiti con l'ausilio del già citato software di calcolo Sismicad prodotto dalla Concrete S.r.l. Il modello utilizzato discretizza le pareti con elementi finiti tipo *shell* a comportamento combinato lastra-piastra con discretizzazione di 50 cm. Il suolo è stato modellato mediante vincoli di tipo elastoplastico, ossia non reagenti a trazione.

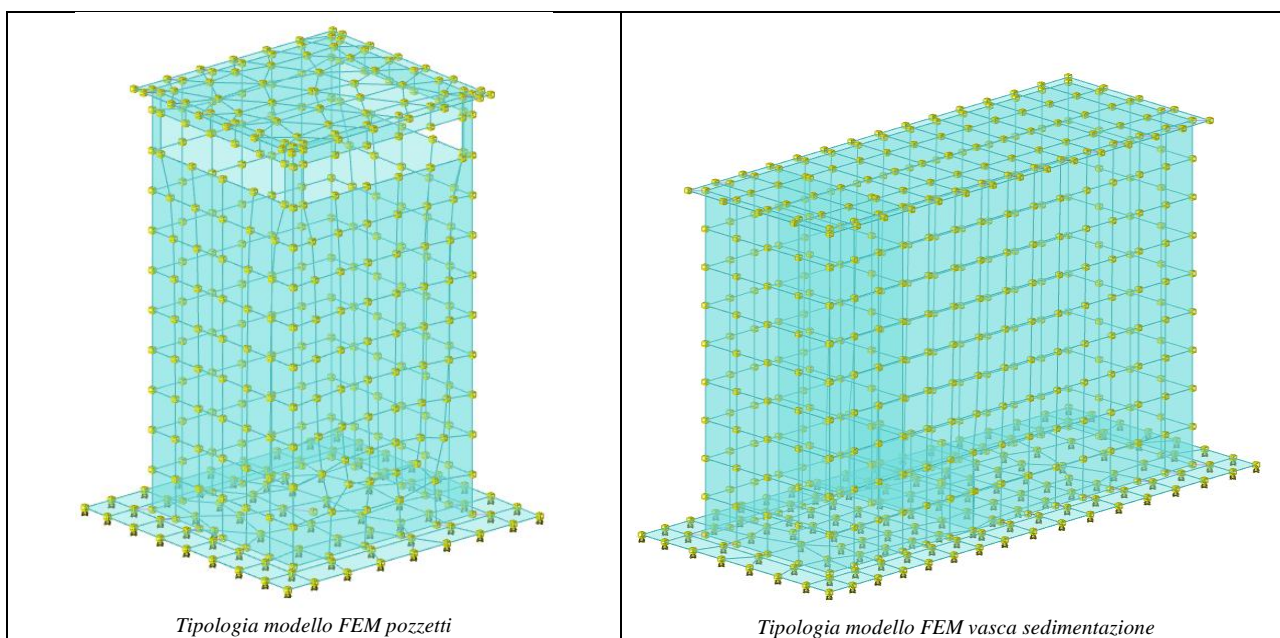
Coefficiente di sottofondo verticale: k_v : valore ottenuto con Vesic adottando $E = 8.000 \text{ daN/cm}^2$

Coefficiente di sottofondo orizzontale: k_o : $0,5 k_v$

Pressione limite per abbassamento: $\sigma_{v,abb} = 58/2,3 = 25 \text{ daN/cm}^2$ ($\gamma_{R3}=2,3$)

Pressione limite per innalzamento: $\sigma_{v,inn} = 0,001 \text{ daN/cm}^2$ (valore prossimo a 0)

Un modello non lineare del terreno consente di avere una parzializzazione della sezione per l'effetto di carichi eccentrici. Il modello FEM dei principali manufatti, ossia dei pozzetti e vasche sono riportati schematicamente in figura:



Solo ai fini del calcolo è stato utilizzato, a vantaggio di sicurezza, un calcestruzzo di classe C32/40 in luogo della classe prescritta C35/45 e C45/55 (vedi par. 2.2). Avendo utilizzato un comportamento non dissipativo le azioni sono quella da calcolo, e non di capacità, pertanto nelle verifiche non rientra la scelta della resistenza. Inoltre la variazione del valore del modulo di elasticità, rispetto alla classe prescritta, ha un effetto trascurabile sulla rigidezza e sulla variazione del periodo di vibrazione.

Nei confronti dell'azione sismica è stata adottata una analisi statica lineare. Per quanto riguarda le forze di inerzia delle pareti, le azioni sono direttamente calcolate dal programma con il metodo appena descritto. Le azioni connesse alle spinte del terreno sono state valutate nelle condizioni di terreno con "pareti rigide" e si è ritenuto opportuno utilizzare il coefficiente di spinta a riposo delle terre (k_0), di conseguenze le sovra spinte litodinamiche con l'applicazioni di forze pseudo statiche con la teoria di Wood. Per la verifica a scorrimento la norma prevede di poter utilizzare un contributo di spinta passiva opportunamente ridotto, con massimo pari al 50%.

Per quanto riguarda le verifiche nelle condizioni di esercizio, ossia le verifiche dei cedimenti, queste non sono state valutate trattandosi di terreno roccioso.

Si rimanda ai tabulati di calcolo di ogni manufatto per le verifiche di dettaglio.

6.2 Torrino Piezometrico

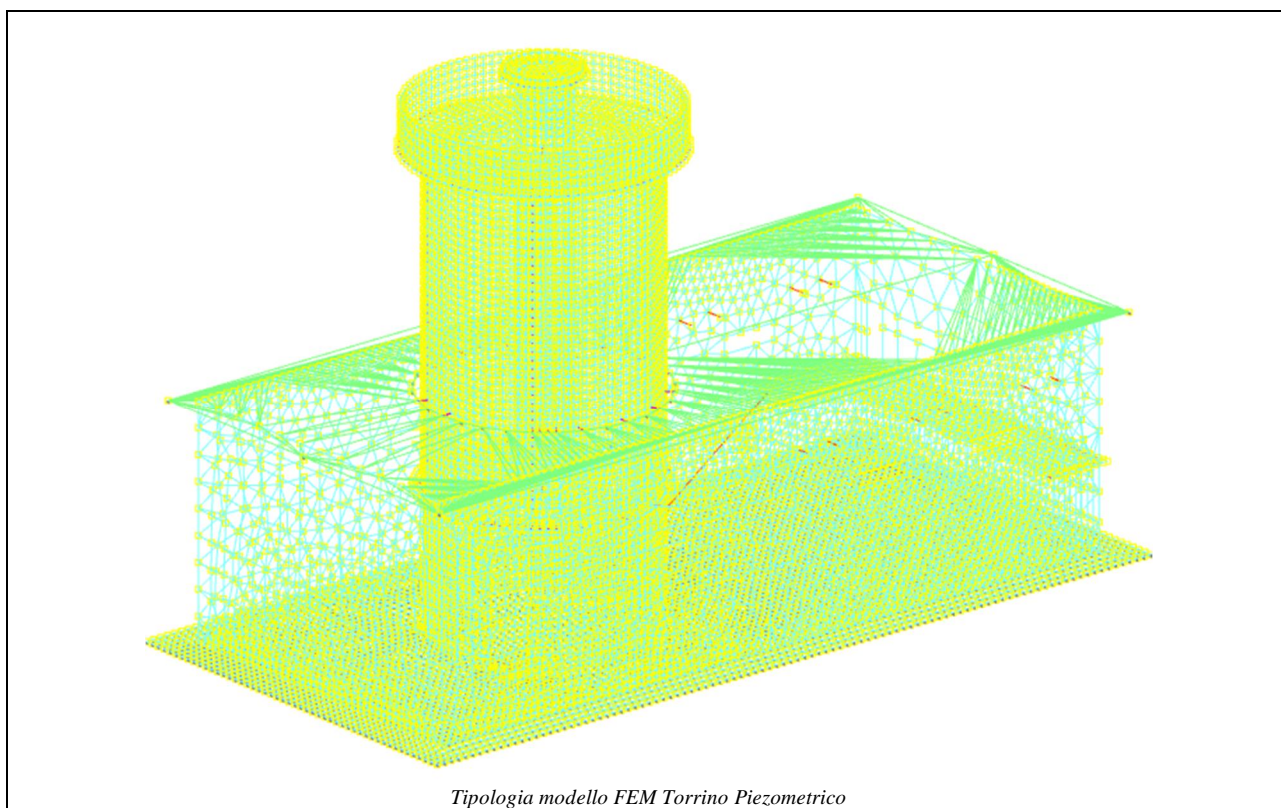
Per la modellazione strutturale del Torrino Piezometrico è stato adottato un modello FEM agli elementi finiti con l'ausilio del già citato Software di calcolo Sismicad prodotto dalla Concrete S.r.l. Il modello utilizzato discretizza le pareti con elementi finiti tipo shell a comportamento combinato lastra-piastra con discretizzazione di 50 cm. Il suolo è stato modellato mediante vincoli di tipo elastico lineare:

Coefficiente di sottofondo verticale: k_v : valore ottenuto con Vesic adottando $E = 8.000 \text{ daN/cm}^2$

Coefficiente di sottofondo orizzontale: k_o : $0,5 k_v$

Un modello non lineare del terreno non avrebbe consentito di utilizzare un'analisi dinamica lineare modale, necessaria in caso di struttura irregolare in pianta e elevazione.


Il modello FEM del Torrino è riportati schematicamente in figura:



Nei confronti dell'azione sismica è stata adottata una analisi statica lineare. Per quanto riguarda le forze di inerzia delle pareti, le azioni sono direttamente calcolate dal programma con il metodo appena descritto. Le azioni connesse alle spinte del terreno sono state valutate nelle condizioni di terreno con "pareti rigide" e si è ritenuto opportuno utilizzare il coefficiente di spinta a riposo delle terre (k_0), di conseguenze le sovra spinte litodinamiche con l'applicazioni di forze pseudo statiche con la teoria di Wood. Per la verifica a scorrimento la norma prevede di poter utilizzare un contributo di spinta passiva opportunamente ridotto, con massimo pari al 50%.

Per quanto riguarda le verifiche nelle condizioni di esercizio, ossia le verifiche dei cedimenti, queste non sono state valutate trattandosi di terreno roccioso.

Si rimanda ai tabulati di calcolo di ogni manufatto per le verifiche di dettaglio.

 acquedotto pugliese <small>l'acqua, bene comune</small>	PROGETTO DEFINITIVO P1063 – Lavori di completamento dell'Acquedotto del Locone - II Lotto – dal Torrino di Barletta al serbatoio di Bari-Modugno	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE
		Pag 35 di 35

7. CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche strutturali sono effettuate facendo riferimento al metodo semi-probabilistico degli stati limite applicando come descritto nel Eurocodici e nella vigente normativa italiana D.M. 17/01/2018 e Successiva Circolare Esplicativa.

7.1 Stati limite ultimi

Le verifiche agli stati limite ultimi sono quelle riportate nel D.M.017/01/2018 e Successiva Circolare Esplicativa e sono di tipo di resistenza, adottando le sollecitazioni di calcolo, come prescritto per le strutture a comportamento non dissipativo.

7.2 Stati limite di esercizio

Lo stato limite di esercizio esaminato per il soddisfacimento delle prestazioni richieste ai manufatti in c.a. contenenti liquidi sono le verifiche di fessurazione.

In merito alla protezione nei confronti delle perdite delle vasche, alle strutture si attribuisce la classe di tenuta 1 secondo la classificazione di cui al prospetto 7.105 della UNI EN 1992-3. Il requisito viene garantito verificando che:

- l'apertura delle fessure indotta dalle sollecitazioni flessionali, per la combinazione rara, sia limitata a w_{k1} , dove
 - o $w_{k1} = 0.2 \text{ mm}$ per $h_D/h \leq 5$
 - o $w_{k1} = 0.05 \text{ mm}$ per $h_D/h \geq 35$
 - o h_D = altezza del battente idrostatico
 - o h = spessore della membratura
 Per valori di h_D/h compresi fra 5 e 35, il valore di w_{k1} viene calcolato per interpolazione lineare.

Nel caso in esame le verifiche di fessurazione sono soddisfatte perché il cls risulta ovunque non fessurato, ossia in stadio I, per tutti i manufatti (pozzetti e Torrino).

Si rimanda al progetto esecutivo e alla realizzazione la specifica dei dettagli delle fasi di getto per evitare fessurazioni da ritiro (riprese di getto, waterstop, additivi, giunti di ritiro controllati, eccetera).