



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Mims
Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

**Piano Nazionale per la Ripresa e
Resilienza
M2C4 - 14.1**
"Investimenti in infrastrutture idriche primarie
per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico"

**RECUPERO DI BACINI DI EX CAVA IN DESTRA IDRAULICA DEL FIUME
MARECCHIA, CON FUNZIONE DI STOCCAGGIO PER SOCCORSO E
DISTRIBUZIONE IRRIGUA SULLA BASSA VALMARECCHIA, LAMINAZIONE
DELLE PIENE ED USO AMBIENTALE**

Codice Intervento: PNRR-M2C4-I4.1-A1-3

PROGETTO DEFINITIVO

Importo progetto € 15.000.000,00

C.U.P. I61B20001260001



TAV C.1 RELAZIONE SULLE STRUTTURE – CALCOLI DELLE STRUTTURE

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Ing. Andrea Cicchetti

PROGETTISTA GENERALE DELL'OPERA
Ing. Alberto Vanni

CONSULENZA SPECIALISTICA
OPERE IDRAULICHE
Ing. Marco Donati

PROGETTISTA DELLE OPERE
STRUTTURALI
Ing. Mauro Cevoli

Codice Progetto	Revisioni	Descrizione	data
T1RN – 01/2022	0	Emissione per progetto definitivo	15/09/2022

**Recupero dei bacini di ex cava in destra idraulica del Fiume
Marecchia con funzione di stoccaggio per soccorso e
distribuzione irrigua sulla bassa Valmarecchia, laminazione delle
piene ed uso ambientale nei comuni di Rimini, Verucchio e
Santarcangelo di Romagna (RN)**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SULLE STRUTTURE

CALCOLI DELLE STRUTTURE

Indice

1	Premessa	3
2	Descrizione delle opere strutturali	6
2.1	Vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra	6
2.2	Locale tecnico.....	7
3	Normativa di riferimento.....	8
4	Definizione delle azioni e dei parametri di progetto	9
5	Definizione dei materiali per uso strutturale	11
6	Calcoli delle strutture	12
6.1	Vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra	12
6.2	Opere provvisorie di sostegno	24

1 Premessa

Il presente progetto riguarda l'intervento di "Recupero dei bacini di ex cava in destra idraulica del Fiume Marecchia con funzione di stoccaggio per soccorso e distribuzione irrigua sulla bassa Valmarecchia, laminazione delle piene ed uso ambientale".

In tale intervento, l'unica opera di rilevanza strutturale è costituita da un nuovo impianto di sollevamento che verrà realizzato in adiacenza al lago Azzurro nell'estremo sud-ovest dello stesso, come meglio individuato nell'immagine sotto:

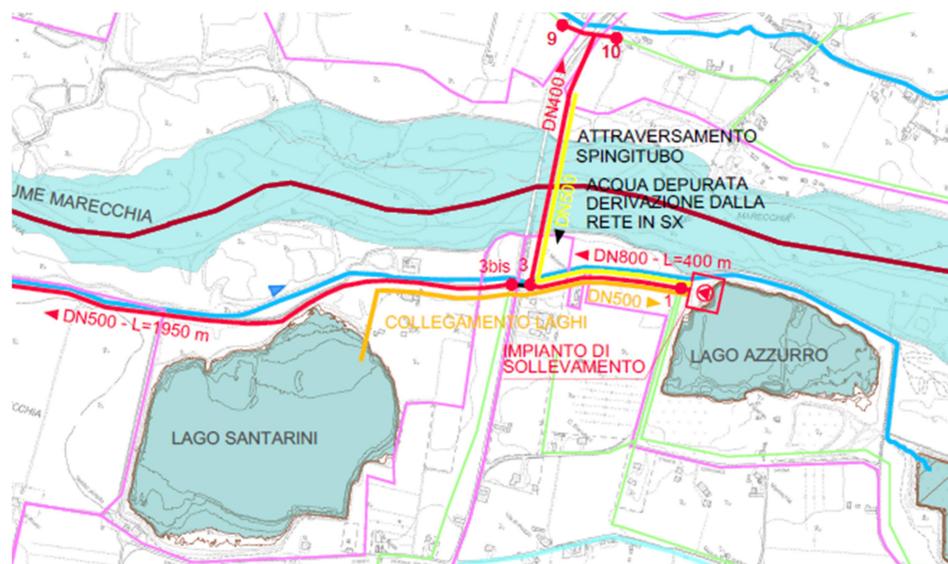


Figura 1: Planimetria di progetto con individuazione dell'impianto di sollevamento

All'interno dell'area del sollevamento troveranno spazio il vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra e il locale tecnico per i quadri elettrici ed i trasformatori.

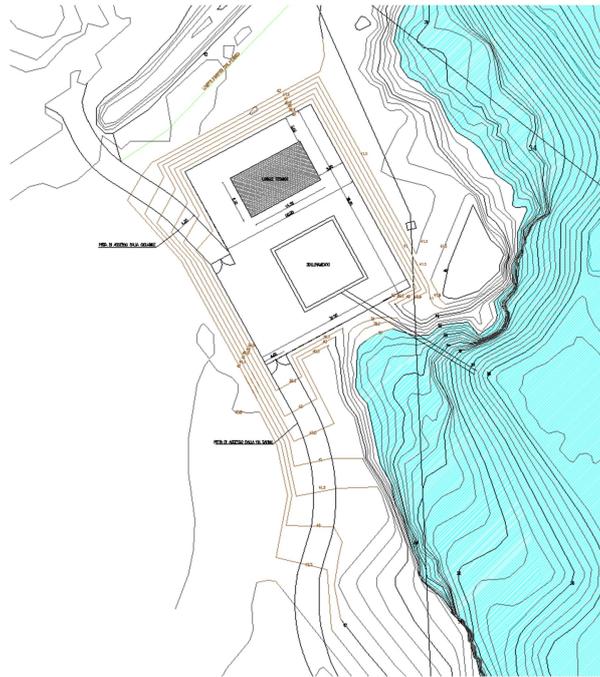


Figura 2: Area impianto di sollevamento

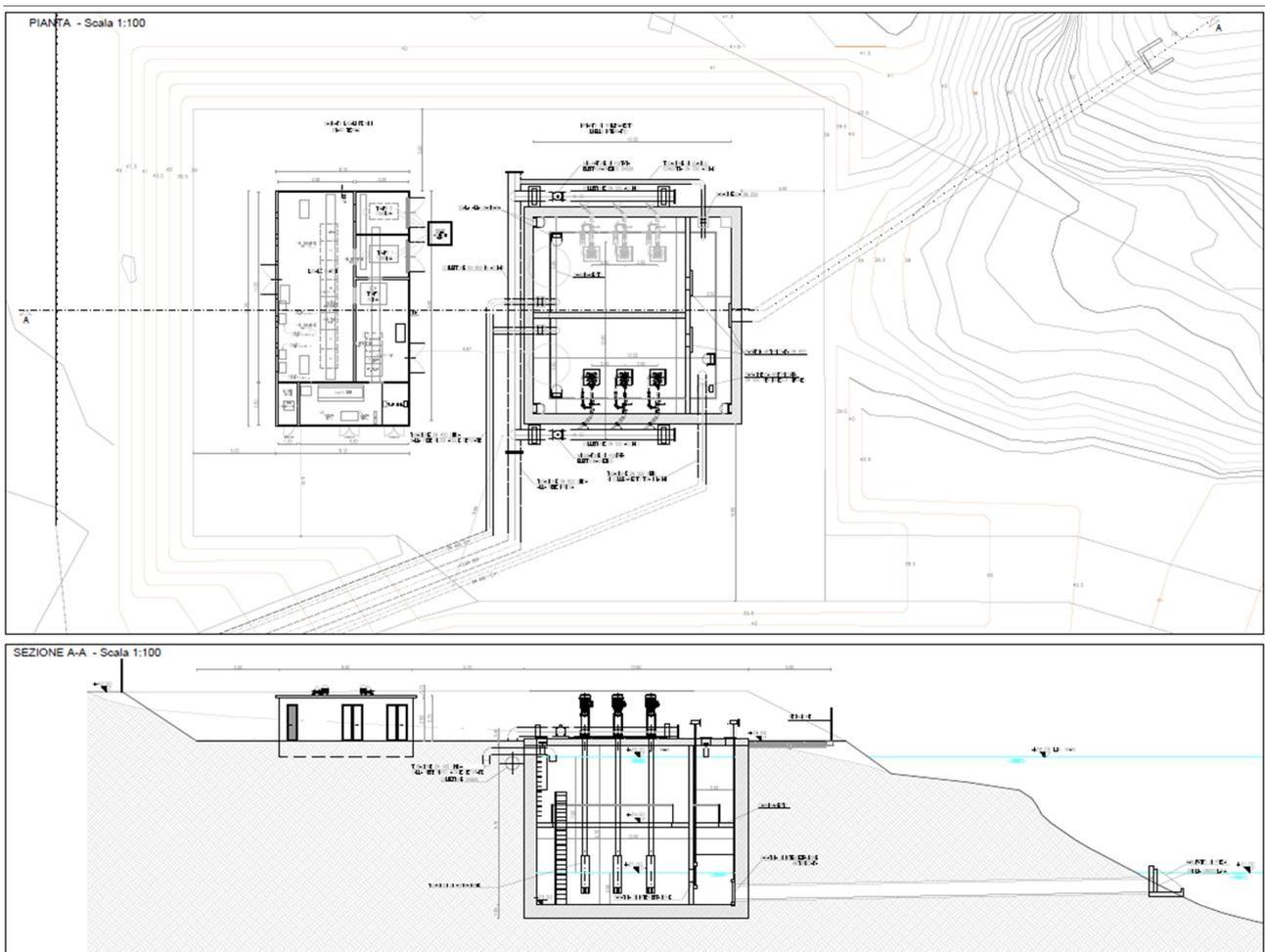


Figura 3: Pianta e sezione impianto di sollevamento

Il locale tecnico per i quadri elettrici ed i trasformatori è un manufatto prefabbricato ad un solo piano fuori terra delle dimensioni di circa 8.10x15.30m.

Il vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra è un manufatto completamente interrato delle dimensioni di circa 13x13m ed una profondità di circa 10.76m.

Tale relazione illustra i criteri di impostazione del calcolo, le azioni, i criteri di verifica e la definizione degli elementi strutturali principali di tale nuovo manufatto.

2 Descrizione delle opere strutturali

2.1 Vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra

Il vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra è un manufatto completamente interrato delle dimensioni di circa 13x13m ed una profondità di circa 10.76m realizzato in calcestruzzo armato.

Risulta costituito da una soletta di fondazione dello spessore di 100cm, da pareti perimetrali di spessore pari a 50cm e pareti interne di spessore pari a 40cm, da una soletta intermedia lungo il perimetro esterno e da una soletta di copertura di spessore pari a 40cm.

Al fine di poter realizzare in sicurezza tale manufatto, senza effettuare importanti opere di sbancamento che andrebbero ad interferire con le opere spondali del lago Azzurro, è stata prevista la realizzazione di una paratia provvisoria costituita da pali trivellati in c.a. da 80cm di diametro e 15.0m di lunghezza, posti su tutto il perimetro.

Si riporta nell'immagine sotto la sezione strutturale:

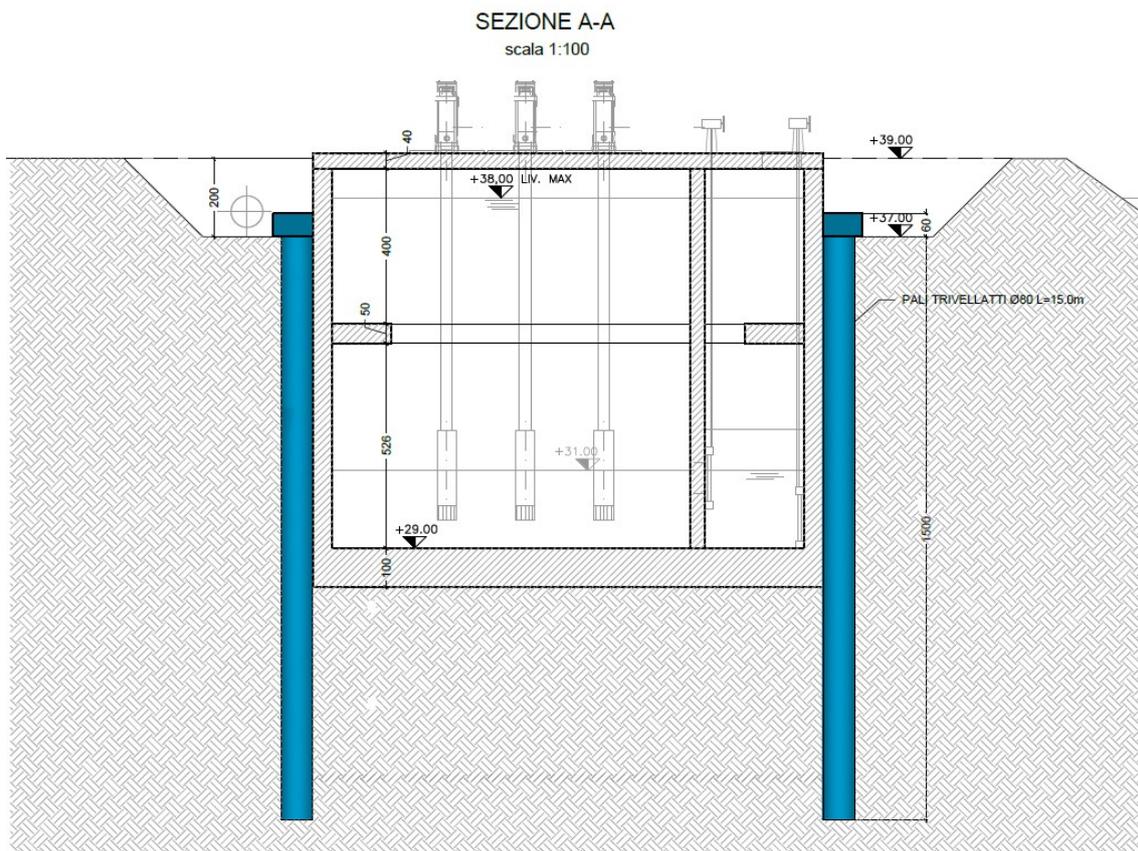


Figura 4: Sezione strutturale vano alloggio pompe e organi di manovra

2.2 Locale tecnico

Il locale tecnico per i quadri elettrici ed i trasformatori è un manufatto prefabbricato in c.a.v. ad un solo piano fuori terra delle dimensioni di circa 8.10x15.30m.

Risulta costituito da muri di fondazione prefabbricati posti su una soletta in opera dello spessore di 40cm, su cui poggiano le pareti portanti prefabbricate in c.a.v. di spessore pari a 12cm. La soletta di calpestio è costituita da lastre in c.a.v. prefabbricate dello spessore di 12cm ed anche la copertura è realizzata con lastre in c.a.v. prefabbricate a spessore variabile da 12 a 16cm.

Si riporta nell'immagine sotto la sezione strutturale:

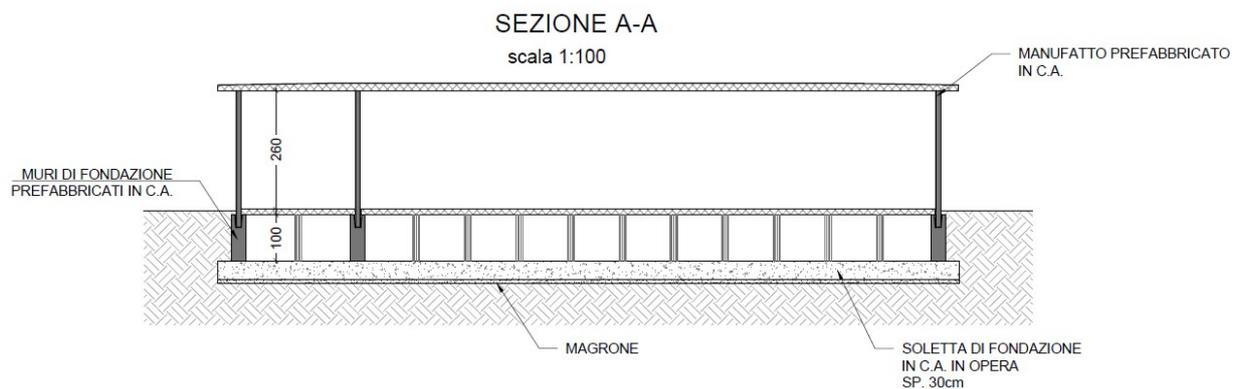


Figura 5: Sezione strutturale locale per i quadri elettrici

3 Normativa di riferimento

Il progetto e la verifica degli elementi strutturali è stata eseguita con riferimento alle seguenti normative:

- ✓ D.M. 17.1.2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” (NTC2018);
- ✓ Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;

4 Definizione delle azioni e dei parametri di progetto

Vita nominale dell'opera strutturale

La vita nominale individuata per la progettazione dell'opera in esame è di **50 anni**, in accordo con quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 per le opere ordinarie.

Classe d'uso dell'opera strutturale

Il D.M. 2018, al punto 2.4.2, suddivide le costruzioni in classi d'uso, in presenza di azione sismica, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso.

In base alla suddetta classificazione, la struttura in esame risulta essere appartenente alle **CLASSE II**.

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento V_r assunto per la fase di progettazione ($V_r = V_n \times C_u$) risulta pertanto almeno pari a 50 anni ($V_n = 50$ anni, $C_u = 1.0$ per classe d'uso della struttura pari a II)

Parametri per la definizione dell'azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Nel D.M. 17 gennaio 2018 la definizione della pericolosità sismica è fatta mediante un approccio "sito dipendente", a differenza delle norme precedenti (D.M. 16 gennaio 1996 e D.M. 15 settembre 2005/Ordinanza PCM 3431) per le quali si utilizza un criterio "zona dipendente".

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_o [-]	T_c^* [s]
Operatività	30	0.052	2.449	0.270
Danno	50	0.066	2.456	0.284
Salvaguardia Vita	475	0.184	2.497	0.300
Prevenzione Collasso	975	0.242	2.496	0.314

Condizioni di carico elementari

Le condizioni elementari di carico considerate nella progettazione della struttura in esame sono le seguenti:

peso proprio delle strutture;

peso permanente non strutturale;

azione variabile sulla soletta di copertura;

pressione del terreno;

sottospinta idraulica;

azione sismica.

5 Definizione dei materiali per uso strutturale

Si prevede l'utilizzo dei seguenti materiali per uso strutturale:

MATERIALE	SPECIFICHE TECNICHE
Calcestruzzo per Pali e Trave di correa	Classe di resistenza (N/mm ²): C25/30 Classe di esposizione ambientale: XC2 Dimensione massima degli aggregati d=25 mm Classe di consistenza S5 Rapporto acqua/cemento<0.60 Contenuto min. cemento Portland 42.5>300 Kg/m ³
Calcestruzzo per pareti e solette manufatto	Classe di resistenza (N/mm ²): C32/40 Classe di esposizione ambientale: XC4 Dimensione massima degli aggregati d=25 mm Classe di consistenza S5 Rapporto acqua/cemento<0.50 Contenuto min. cemento Portland 42.5>340 Kg/m ³
Acciaio in barre per c.a. e reti elettrosaldate d'armatura	Acciaio B450c
Acciaio per puntelli di contrasto provvisionali	S355 jR (ex Fe510)

6 Calcoli delle strutture

6.1 Vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra

Il vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra è un manufatto completamente interrato delle dimensioni

Per il progetto del manufatto per le pompe e gli organi di manovra è stato sviluppato un modello tridimensionale delle strutture utilizzando il seguente software:

✓ **ModeSt ver. 8.24**, prodotto da Tecnisoft s.a.s. (Prato).

La struttura è stata calcolata utilizzando come solutore agli elementi finiti

✓ **Xfinest ver. 2020**, prodotto da Ce.A.S. S.r.l. – Milano

La risoluzione della struttura avviene mediante una analisi F.E.M., attraverso l'assemblaggio delle matrici di rigidezza associate ai vari tipi di elementi finiti a comportamento meccanico predefinito e governato da specifica teoria associata alla formulazione matematico-numerica dell'elemento.

La modellazione dei setti e solette viene effettuata con elemento finito del tipo "Shell/Plate"; la risoluzione della struttura avviene tramite una analisi di tipo FEM, dalla quale vengono desunte le sollecitazioni negli elementi strutturali per i carichi verticali e per quelli sismici.

Si riportano sotto alcune immagini del modello di calcolo utilizzato:

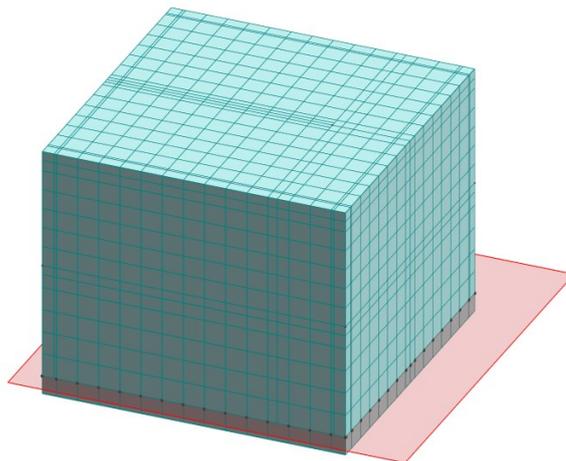


Figura 6: Modello strutturale del vano alloggio pompe e organi di manovra

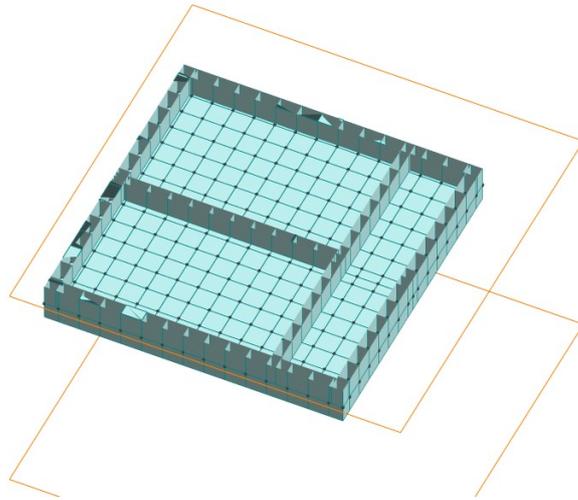


Figura 7: Particolare soletta di fondazione

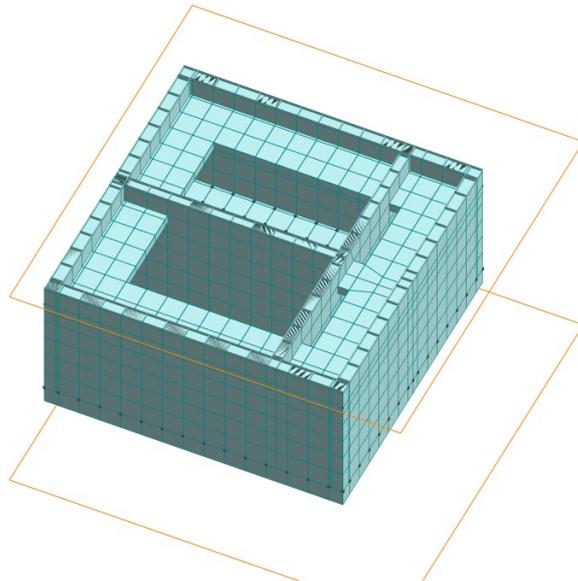


Figura 8: Particolare soletta intermedia

Sul modello di calcolo sopra illustrato è stata condotta una analisi statica ed una analisi simica dinamica lineare ipotizzando un comportamento non dissipativo ed adottando un fattore di struttura $q=1.0$.

Si riportano sotto le condizioni di carico previste e le combinazioni delle stesse:

Paragrafo 6 - Calcoli delle strutture

Condizioni di carico elementari

Simbologia

CCE = Numero della condizione di carico elementare
 Comm. = Commento
 Dir. = Direzione del vento
 Jpx = Moltiplicatore del momento d'inerzia intorno all'asse X
 Jpy = Moltiplicatore del momento d'inerzia intorno all'asse Y
 Jpz = Moltiplicatore del momento d'inerzia intorno all'asse Z
 Mx = Moltiplicatore della massa in dir. X
 My = Moltiplicatore della massa in dir. Y
 Mz = Moltiplicatore della massa in dir. Z
 Sic. = Contributo alla sicurezza
 S = a sfavore
 Tipo = Tipologia di pressione vento
 M = Massimizzata
 E = Esterna
 I = Interna
 Tipo CCE = Tipo di CCE per calcolo agli stati limite
 Var. = Tipo di variabilità
 B = di base
 s = Coeff. di riduzione (T.A. o S.L. D.M. 96)

CCE	Comm.	Tipo CCE	Sic.	Var.	s	Dir. <grad>	Tipo	Mx	My	Mz	Jpx	Jpy	Jpz
1	perm. str.	1	S	--	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	perm. non str.	2	S	--	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
3	var. cop	9	S	B	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
4	press. terreno	2	S	--	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
5	press. idraulica	2	S	--	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Combinazioni delle CCE

Simbologia

An. = Tipo di analisi
 L = Lineare
 NL = Non lineare
 Bk = Buckling
 S = Sì
 N = No
 CC = Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari
 Comm. = Commento
 TCC = Tipo di combinazione di carico
 SLU = Stato limite ultimo
 SLE R = Stato limite d'esercizio, combinazione rara
 SLE F = Stato limite d'esercizio, combinazione frequente
 SLE Q = Stato limite d'esercizio, combinazione quasi permanente
 SLD = Stato limite di danno
 SND = Stato limite di salvaguardia della vita (non dissipativo)

CC	Comm.	TCC	An.	Bk	1	2	3	4	5	±S X	±S Y
1	Amb. 1 (SLU S) S +X+0.3Y	SND	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	0.30
2	Amb. 1 (SLE) S +X+0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	0.30
3	Amb. 1 (SLU S) S +X-0.3Y	SND	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	-0.30
4	Amb. 1 (SLE) S +X-0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	-0.30
5	Amb. 1 (SLU S) S +0.3X+Y	SND	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	0.30	1.00
6	Amb. 1 (SLE) S +0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	0.30	1.00
7	Amb. 1 (SLU S) S -0.3X+Y	SND	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	-0.30	1.00
8	Amb. 1 (SLE) S -0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	-0.30	1.00
9	Amb. 2 (SLU)	SLU	L	N	1.30	1.50	1.50	1.50	1.00	0.00	0.00
10	Amb. 2 (SLE R)	SLE R	L	N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
11	Amb. 2 (SLE F)	SLE F	L	N	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.00	0.00
12	Amb. 2 (SLE Q)	SLE Q	L	N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	0.00	0.00

Si riporta sotto una sintesi grafica dei risultati ottenuti in termini di sollecitazioni sulle pareti perimetrali e sulla soletta di copertura:

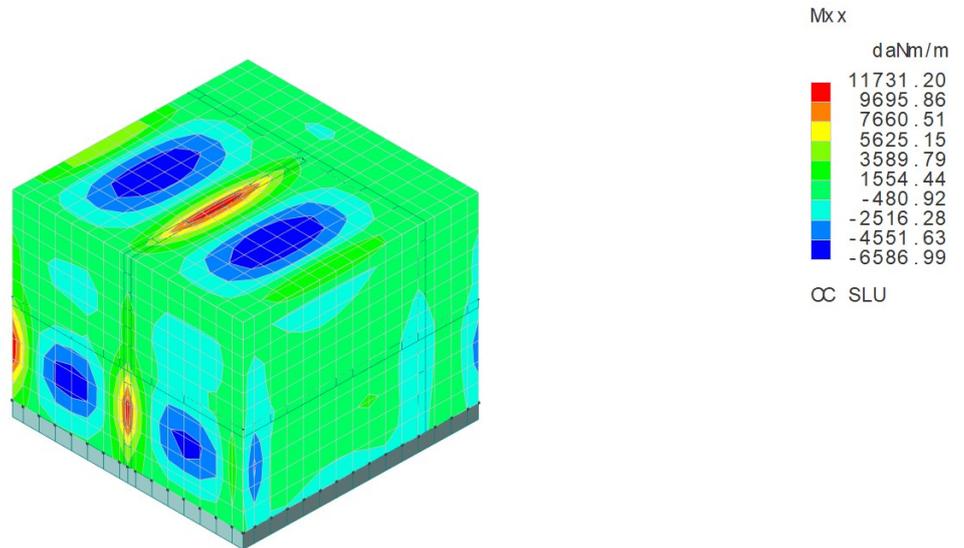


Figura 9: Momenti flettenti direzione x-x locale - combinazione statica SLU

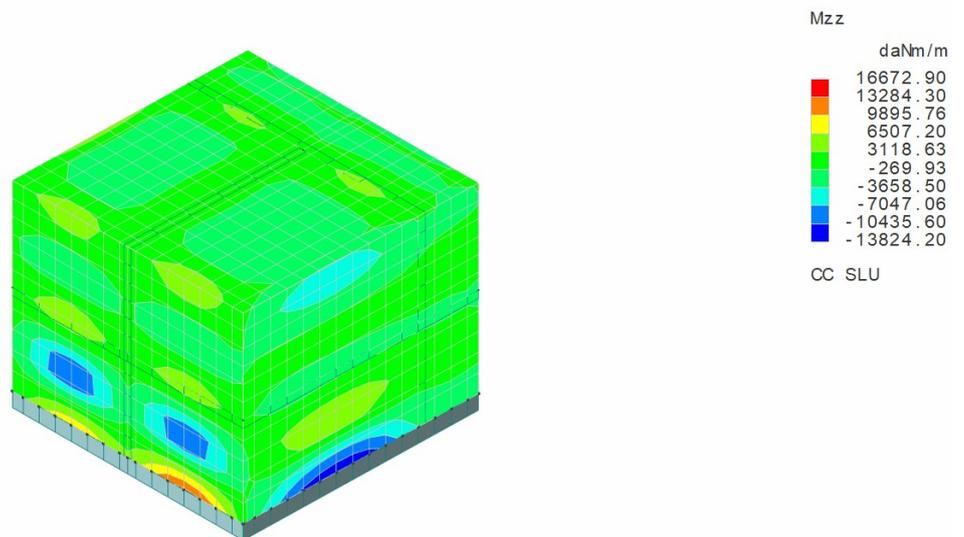


Figura 10: Momenti flettenti direzione z-z locale - combinazione statica SLU

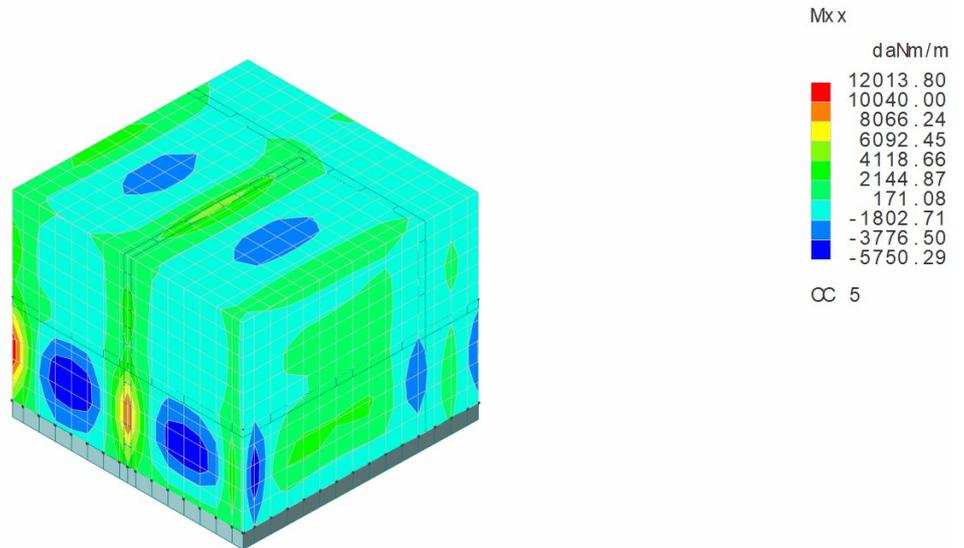


Figura 11: Momenti flettenti direzione x-x locale - combinazione sismica SLV

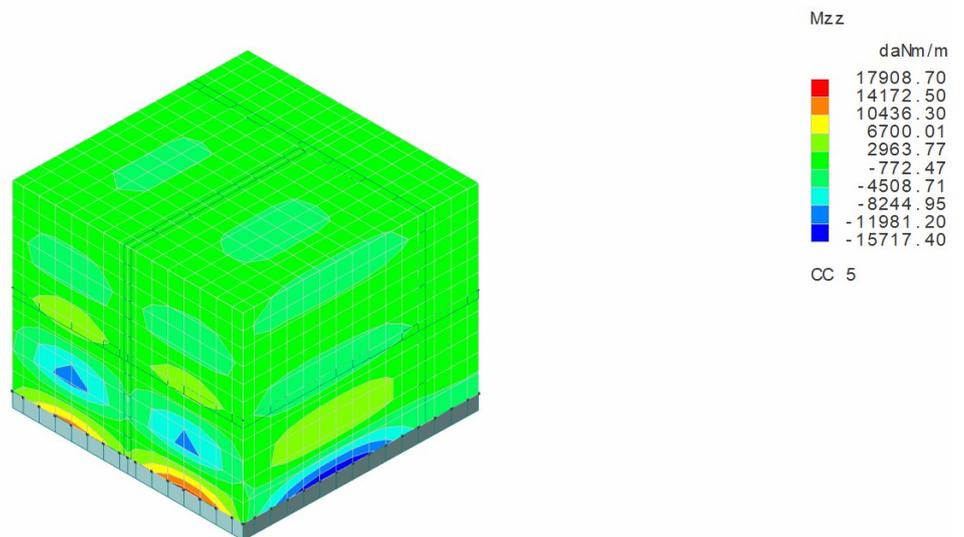


Figura 12: Momenti flettenti direzione z-z locale - combinazione sismica SLV

Si riporta sotto anche le sollecitazioni sulla soletta di fondazione:

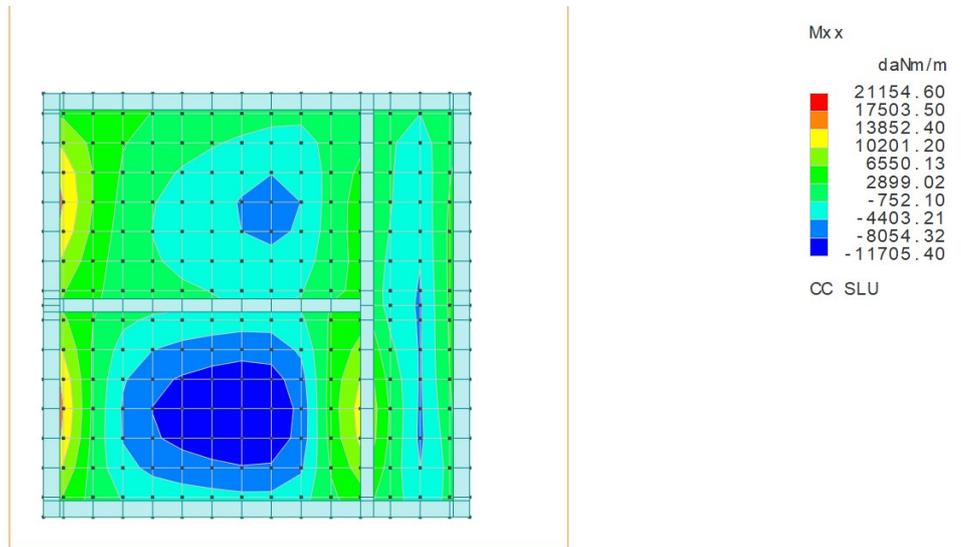


Figura 13: Momenti flettenti direzione x-x - combinazione statica SLU

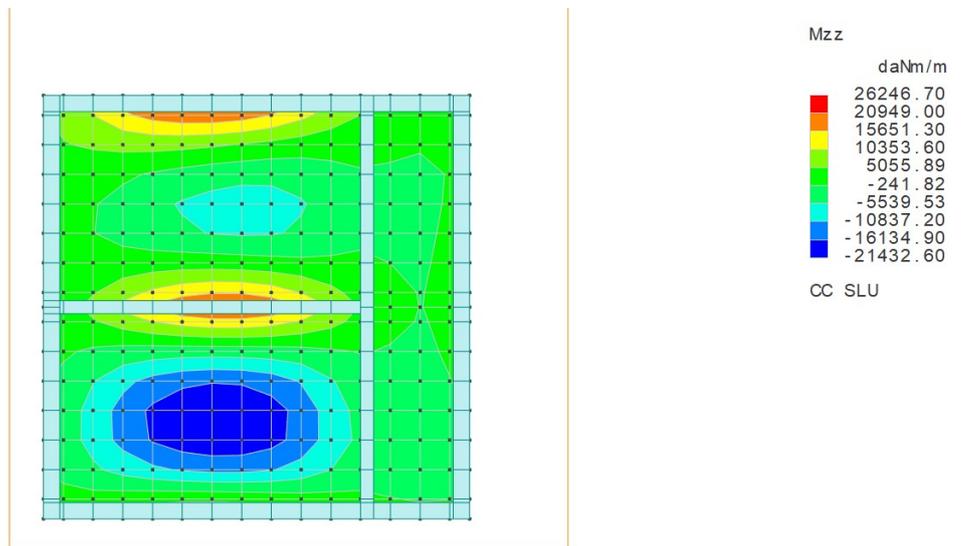


Figura 14: Momenti flettenti direzione z-z - combinazione statica SLU

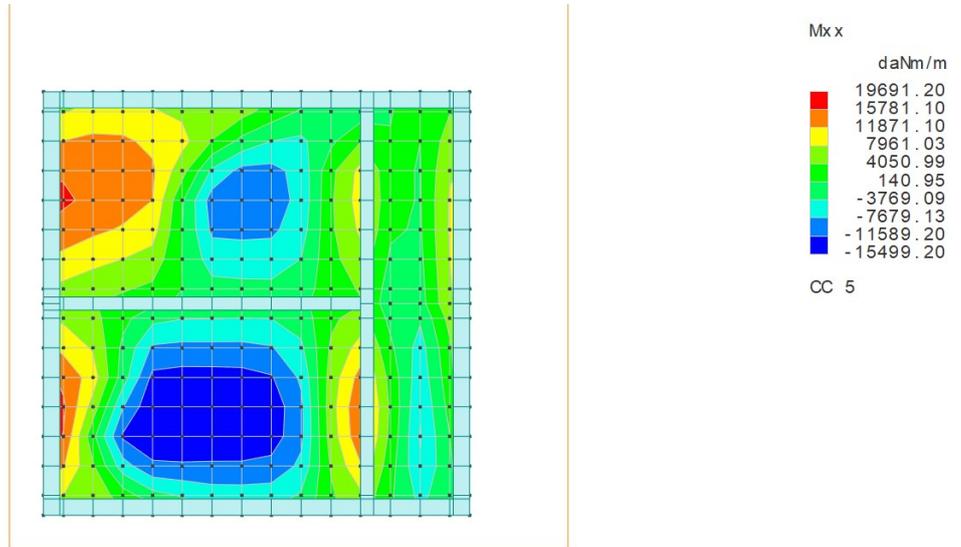


Figura 15: Momenti flettenti direzione x-x - combinazione sismica SLV

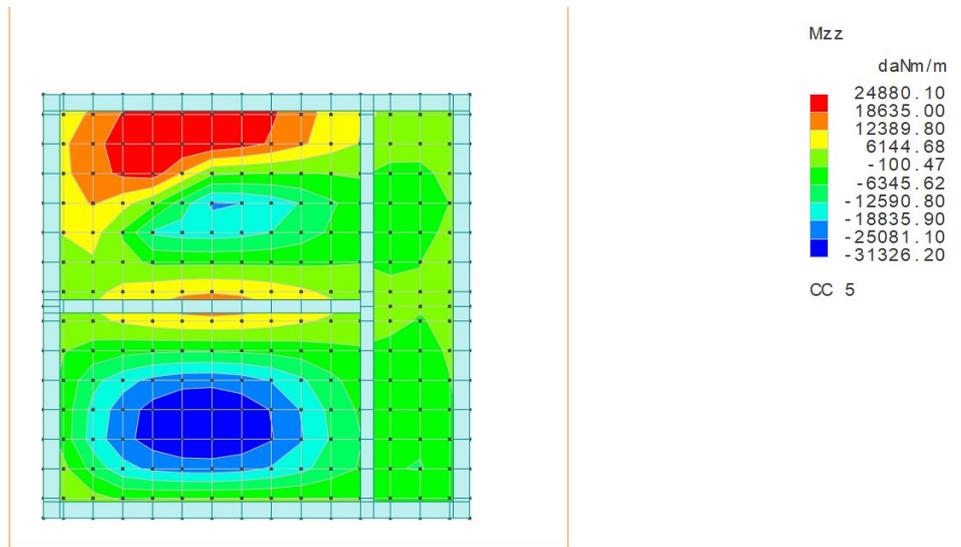
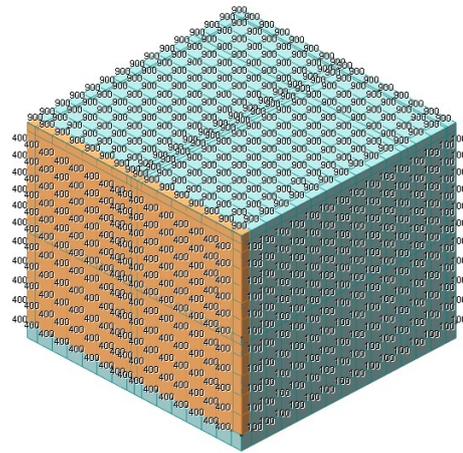


Figura 16: Momenti flettenti direzione z-z - combinazione sismica SLV

Si riporta la verifica della parete 400 evidenziata nell'immagine sotto:



Numero del nucleo n. 400

Nodi: 62 29 27 25 23 21 19 17 1 15 13 11 9 7 5 3 59

Simbologia

Δ_{sm}	=Distanza media tra le fessure
Φ_{eq}	=Diametro equivalente delle barre
ε_{sm}	=Deformazione unitaria media dell'armatura (*1000)
σ_c	=Tensione nel calcestruzzo
σ_f	=Tensione nel ferro
σ_s	=Tensione nell'acciaio nella sezione fessurata
$A_{c\ eff}$	=Area di calcestruzzo efficace
A_s	=Area complessiva dei ferri nell'area di calcestruzzo efficace
CC	=Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari
Cf	=Copriferro
Cls	=Tipo di calcestruzzo
Fcd	=Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo
Fck	=Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo
Fctd	=Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo
Fctk	=Resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo
Fyd	=Resistenza di calcolo dell'acciaio
Fyk	=Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio
K_2	=Coefficiente per distribuzione deformazioni
Liv.	=Numero del livello
M'ydy	=Momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico intorno all'asse Y
M'ydz	=Momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico intorno all'asse Z
MRdy	=Momento resistente allo stato limite ultimo intorno all'asse Y
MRdz	=Momento resistente allo stato limite ultimo intorno all'asse Z
My	=Momento flettente intorno all'asse Y
Mz	=Momento flettente intorno all'asse Z
N	=Sforzo normale
Nu	=Sforzo normale ultimo
Pos.	=Posizione (P=Piede, T=Testa)
Sic.	=Sicurezza
Spess.	=Spessore
TCC	=Tipo di combinazione di carico
SLU	= Stato limite ultimo
SLE R	= Stato limite d'esercizio, combinazione rara
SLE F	= Stato limite d'esercizio, combinazione frequente
SLE Q	= Stato limite d'esercizio, combinazione quasi permanente

Paragrafo 6 - Calcoli delle strutture

SLD = Stato limite di danno
 SND = Stato limite di salvaguardia della vita (non dissipativo)
 Tp =Tipo di acciaio
 VRcd =Taglio ultimo lato calcestruzzo
 VRsd =Taglio ultimo lato armatura
 Vsdu =Taglio agente nella direzione del momento ultimo
 Wk =Ampiezza caratteristica delle fessure
 c =Ricoprimento dell'armatura
 ctgθ =Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
 s =Distanza massima tra le barre

Caratteristiche delle sezioni e dei materiali utilizzati

Spess. <cm>	Cf <cm>	Cls	Fck <daN/cm ² >	Fctk <daN/cm ² >	Fcd <daN/cm ² >	Fctd <daN/cm ² >	Tp	Fyk <daN/cm ² >	Fyd <daN/cm ² >
50.00	5.80	C28/35	290.50	19.84	164.62	13.23	B450C	4500.00	3913.04

Stato limite ultimo - Verifiche a flessione/pressoflessione

Liv.	Pos.	CC	TCC	N <daN>	My <daNm>	Mz <daNm>	Nu <daN>	MRdy <daNm>	MRdz <daNm>	Sic.
1	P	9	SLU	-213359.00	-230741.00	-328265.00	-213359.00	-485978.00	-683365.00	2.090
2	P	9	SLU	-233841.00	14958.80	-244799.00	-233841.00	451755.00	-7020730.00	28.685
3	P	9	SLU	-249511.00	93352.80	-166513.00	-249511.00	492423.00	-893908.00	5.346
4	P	9	SLU	-252637.00	87619.70	-88353.30	-252637.00	493066.00	-494448.00	5.612
5	P	9	SLU	-246894.00	22783.90	-11733.10	-5314260.00			21.524
6	P	9	SLU	-205089.00	-91730.30	65809.00	-205089.00	-482890.00	352294.00	5.295
7	P	9	SLU	-189535.00	-7964.42	38464.40	-189535.00	-478591.00	2293940.00	59.657
8	P	9	SLU	-171496.00	22236.10	16661.10	-171496.00	476360.00	354492.00	21.370
9	P	9	SLU	-151229.00	21707.50	1531.29	-151229.00	473502.00	35779.00	21.821
10	P	9	SLU	-130065.00	3600.71	-8454.75	-12839100.00	469494.00	-1103670.00	98.713
11	T	9	SLU	-91846.90	-68821.00	-7128.43	-91846.90	-461711.00	-44575.00	6.704

Stato limite elastico - Verifiche a flessione/pressoflessione

Liv.	Pos.	CC	TCC	N <daN>	My <daNm>	Mz <daNm>	Nu <daN>	M'ydy <daNm>	M'yzd <daNm>	Sic.
1	P	1	SND	67415.60	-217943.00	-464029.00	67415.60	-222644.00	-483547.00	1.038
2	P	1	SND	31775.70	38254.30	-370013.00	31775.70	194976.00	-1923790.00	5.198
3	P	1	SND	-1410.41	87765.10	-283102.00	-1410.41	206908.00	-653855.00	2.314
4	P	5	SND	-120812.00	74859.00	-500759.00	-120812.00	217246.00	-1466780.00	2.929
5	P	1	SND	-44135.90	19926.20	-113003.00	-44135.90	201101.00	-1118920.00	9.908
6	P	5	SND	-96818.20	-85750.20	323734.00	-96818.20	-215718.00	816323.00	2.521
7	P	1	SND	-45966.30	-11803.90	-44392.80	-45966.30	-206039.00	-802886.00	18.045
8	P	1	SND	-51736.60	20718.90	78270.10	-51736.60	207124.00	804409.00	10.259
9	P	1	SND	-54234.60	24873.80	56441.00	-54234.60	239190.00	545210.00	9.653
10	P	1	SND	-53159.00	14617.10	-49114.50	-53159.00	214272.00	-714800.00	14.562
11	T	5	SND	-36182.20	-29495.60	-27931.30	-36182.20	-338057.00	-314913.00	11.373

Stato limite d'esercizio - Verifiche tensionali

Liv.	Pos.	CC	TCC	N <daN>	My <daNm>	Mz <daNm>	σ _c <daN/cm ² >	σ _f <daN/cm ² >
1	P	10	SLE R	-161691.00	-187910.00	-252512.00	51.40	1518.30
1	P	12	SLE Q	-134494.00	-178581.00	-252512.00	48.98	1479.53
2	P	10	SLE R	-178270.00	16148.70	-188307.00	6.16	83.56
2	P	12	SLE Q	-149752.00	20206.40	-188307.00	6.88	90.67
3	P	10	SLE R	-190546.00	80221.40	-128087.00	22.39	452.94
3	P	12	SLE Q	-160653.00	81506.20	-128087.00	22.76	511.67
4	P	10	SLE R	-192436.00	74336.30	-67964.10	20.02	384.61
4	P	12	SLE Q	-161466.00	74372.30	-67964.10	20.05	432.21
5	P	10	SLE R	-187204.00	19035.80	-9025.43	5.51	72.50
5	P	12	SLE Q	-155608.00	18120.10	-9025.43	5.00	65.00
6	P	10	SLE R	-153612.00	-79302.50	50622.30	21.04	485.14
6	P	12	SLE Q	-121960.00	-81685.60	50622.30	21.57	557.97
7	P	10	SLE R	-141172.00	-7963.90	29588.00	3.32	45.55
7	P	12	SLE Q	-110197.00	-9282.57	29588.00	3.09	41.50
8	P	10	SLE R	-126875.00	17872.40	12816.20	4.75	60.51
8	P	12	SLE Q	-96844.70	17316.70	12816.20	4.53	55.65
9	P	10	SLE R	-110927.00	17913.60	1177.92	4.59	57.13
9	P	12	SLE Q	-81977.90	18634.10	1177.92	4.76	55.57
10	P	10	SLE R	-94319.40	3994.56	-6503.65	1.93	26.88
10	P	12	SLE Q	-66307.30	7696.97	-6503.65	2.14	27.93
11	T	10	SLE R	-64623.10	-48855.90	-5483.41	12.47	341.46
11	T	12	SLE Q	-37081.30	-30016.20	-5483.41	7.69	214.64

Stato limite d'esercizio - Verifiche a fessurazione

Paragrafo 6 - Calcoli delle strutture

Liv.	Pos.	CC	TCC	N <daN>	My <daNm>	Mz <daNm>	c <mm>	s <mm>	K ₂	Φ _{eq}	Δ _{sm} <mm>	A _s <cmq>	A _{c eff} <cmq>	σ _s <daN/cmq>	ε _{sm}	Wk <mm>
1P	12	SLE Q		-134494.00	-178581.00	-252512.00	48.00	151.77	0.50	20.00	200.72	273.32	14311.50	1479.53	0.43	0.15
1P	11	SLE F		-142265.00	-181246.00	-252512.00	48.00	151.77	0.50	20.00	200.61	273.32	14295.70	1490.58	0.43	0.15
2P	12	SLE Q		-149752.00	20206.40	-188307.00	48.00	151.77	0.50	20.00	238.29	25.13	1788.02	36.49	0.01	0.00
2P	11	SLE F		-157900.00	19047.10	-188307.00	48.00	151.77	0.50	20.00	309.49	12.57	1341.39	27.60	0.01	0.00
3P	12	SLE Q		-160653.00	81506.20	-128087.00	48.00	151.77	0.50	20.00	189.35	273.32	12757.40	511.67	0.15	0.05
3P	11	SLE F		-169193.00	81139.10	-128087.00	48.00	151.77	0.50	20.00	188.21	273.32	12601.40	494.69	0.14	0.05
4P	12	SLE Q		-161466.00	74372.30	-67964.10	48.00	151.77	0.50	20.00	191.65	273.32	13071.30	432.21	0.13	0.04
4P	11	SLE F		-170314.00	74362.00	-67964.10	48.00	151.77	0.50	20.00	190.48	273.32	12911.30	418.40	0.12	0.04
6P	12	SLE Q		-121960.00	-81685.60	50622.30	48.00	151.77	0.50	20.00	199.70	273.32	14171.50	557.97	0.16	0.06
6P	11	SLE F		-131004.00	-81004.70	50622.30	48.00	151.77	0.50	20.00	198.59	273.32	14020.50	536.96	0.16	0.05
8P	12	SLE Q		-96844.70	17316.70	12816.20	48.00	151.77	0.50	20.00	222.86	116.24	7372.81	29.14	0.01	0.00
8P	11	SLE F		-105425.00	17475.50	12816.20	48.00	151.77	0.50	20.00	1135.00	12.57	6528.24	23.83	0.01	0.01
9P	12	SLE Q		-81977.90	18634.10	1177.92	48.00	151.77	0.50	20.00	171.51	273.32	10318.70	49.85	0.01	0.00
9P	11	SLE F		-90248.90	18428.30	1177.92	48.00	151.77	0.50	20.00	164.69	273.32	9387.12	40.11	0.01	0.00
11T	12	SLE Q		-37081.30	-30016.20	-5483.41	48.00	151.77	0.50	20.00	204.60	273.32	14840.90	214.64	0.06	0.02
11T	11	SLE F		-44950.40	-35399.00	-5483.41	48.00	151.77	0.50	20.00	204.49	273.32	14826.60	250.87	0.07	0.03

Stato limite ultimo - Verifiche a taglio

Liv.	Pos.	CC	Vsdu <daN>	ctgθ	VRsd <daN>	VRcd <daN>	Sic.
1P	5		399568.00	2.50	458204.00	1664370.00	1.147
2P	5		393002.00	2.50	458204.00	1667670.00	1.166
3P	5		374954.00	2.50	458204.00	1670390.00	1.222
4P	5		358136.00	2.50	458204.00	1671610.00	1.279
5P	5		343063.00	2.50	458204.00	1671820.00	1.336
6P	5		199352.00	2.50	458204.00	1667910.00	2.298
7P	5		190810.00	2.50	458204.00	1667000.00	2.401
8P	5		177583.00	2.50	458204.00	1665820.00	2.580
9P	5		161341.00	2.50	458204.00	1664330.00	2.840
10P	5		144411.00	2.50	458204.00	1662580.00	3.173
11P	5		128125.00	2.50	458204.00	1660700.00	3.576

Si riporta la verifica della soletta di fondazione:

Armatura platea a quota 0.00

Simbologia

Δ _{sm}	=Distanza media tra le fessure
Φ _{eq}	=Diametro equivalente delle barre
ε _{sm}	=Deformazione unitaria media dell'armatura (*1000)
σ _c	=Tensione nel calcestruzzo
σ _f	=Tensione nel ferro
σ _s	=Tensione nell'acciaio nella sezione fessurata
A _{c eff}	=Area di calcestruzzo efficace
A _s	=Area complessiva dei ferri nell'area di calcestruzzo efficace
AfE I	=Area di ferro effettiva totale presente nel punto di verifica, inferiore
AfE S	=Area di ferro effettiva totale presente nel punto di verifica, superiore
AfE St.	=Area di ferro effettiva della staffatura
CC	=Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari
Cf inf	=Copriferro inferiore
Cf sup	=Copriferro superiore
Cl _s	=Tipo di calcestruzzo
DV	=Direzione di verifica XX = Verifica per momento Mxx YY = Verifica per momento Myy
Fcd	=Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo
Fck	=Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo
Fctd	=Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo
Fctk	=Resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo
Fyd	=Resistenza di calcolo dell'acciaio
Fyk	=Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio
K ₂	=Coefficiente per distribuzione deformazioni
M'ydy	=Momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico intorno all'asse Y
MRdy	=Momento resistente allo stato limite ultimo intorno all'asse Y
Mom	=Momento flettente
My	=Momento flettente intorno all'asse Y
Nodo	=Numero del nodo
Sic.	=Sicurezza

Paragrafo 6 - Calcoli delle strutture

Spess. = Spessore
TCC = Tipo di combinazione di carico
SLU = Stato limite ultimo
SLE R = Stato limite d'esercizio, combinazione rara
SLE F = Stato limite d'esercizio, combinazione frequente
SLE Q = Stato limite d'esercizio, combinazione quasi permanente
SLD = Stato limite di danno
SND = Stato limite di salvaguardia della vita (non dissipativo)
Tp = Tipo di acciaio
VRcd = Taglio ultimo lato calcestruzzo
VRsd = Taglio ultimo lato armatura
Vrdu = Taglio ultimo resistente
Vsdu = Taglio agente nella direzione del momento ultimo
Wk = Ampiezza caratteristica delle fessure
X = Coordinata X del nodo
Y = Coordinata Y del nodo
c = Ricoprimento dell'armatura
ctgθ = Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
s = Distanza massima tra le barre

Caratteristiche delle sezioni e dei materiali utilizzati

Spess. <cm>	Cf sup <cm>	Cf inf <cm>	Cls	Fck <daN/cmq>	Fctk <daN/cmq>	Fcd <daN/cmq>	Fctd <daN/cmq>	Tp	Fyk <daN/cmq>	Fyd <daN/cmq>
100.00	5.00	5.00	C28/35	290.50	19.84	164.62	13.23	B450C	4500.00	3913.04

Stato limite ultimo - Verifiche a flessione/pressoflessione

Nodo	X <m>	Y <m>	DVCC	TCC	Afe S	Afe I	My <daNm>	MRdy <daNm>	Sic.
23	-0.10	3.23	XX	9SLU	19.01	19.01	21136.00	68900.60	3.260
223	5.95	3.23	XX	9SLU	19.01	19.01	-13586.40	-68900.60	5.071
42	5.04	12.90	YY	9SLU	19.01	19.01	27624.80	68900.60	2.494
222	5.04	3.23	YY	9SLU	19.01	19.01	-23916.50	-68900.60	2.881

Stato limite elastico - Verifiche a flessione/pressoflessione

Nodo	X <m>	Y <m>	DVCC	TCC	Afe S	Afe I	My <daNm>	M'ydy <daNm>	Sic.
120	1.41	9.57	XX	1SND	19.01	19.01	21924.80	66220.00	3.020
221	4.13	3.23	XX	5SND	19.01	19.01	-18026.60	-66220.00	3.673
95	4.13	11.39	YY	5SND	19.01	19.01	29753.60	66220.00	2.226
236	5.04	2.32	YY	5SND	19.01	19.01	-35911.50	-66220.00	1.844

Stato limite ultimo - Verifiche a taglio

Nodo	X <m>	Y <m>	DVCC	TCC	Afe S	Afe I	Afe St.	Vsdu <daN>	ctgθ	VRcd <daN>	VRsd <daN>	Vrdu <daN>	Sic.
217	0.51	3.23	XX	9SLU	19.01	19.01		23419.80				31577.10	1.348
265	5.95	0.51	YY	9SLU	19.01	19.01		29715.80				31577.10	1.063

Stato limite d'esercizio - Verifiche tensionali

Nodo	X <m>	Y <m>	DVCC	TCC	Afe S	Afe I	Mom <daNm>	σc <daN/cmq>	σf <daN/cmq>
23	-0.10	3.23	XX	10SLE R	19.01	19.01	17802.20	17.37	1052.98
23	-0.10	3.23	XX	12SLE Q	19.01	19.01	17798.20	17.37	1052.74
223	5.95	3.23	XX	10SLE R	19.01	19.01	-9967.31	9.73	589.55
223	5.95	3.23	XX	12SLE Q	19.01	19.01	-8703.41	8.49	514.80
42	5.04	12.90	YY	10SLE R	19.01	19.01	23525.20	22.96	1391.49
42	5.04	12.90	YY	12SLE Q	19.01	19.01	23647.30	23.08	1398.71
222	5.04	3.23	YY	10SLE R	19.01	19.01	-17284.10	16.87	1022.34
223	5.95	3.23	YY	12SLE Q	19.01	19.01	-14680.80	14.33	868.35

Stato limite d'esercizio - Verifiche a fessurazione

Nodo	X <m>	Y <m>	DVCC	TCC	c <mm>	s <mm>	K ₂	Φ _{eq}	Δ _{sm} <mm>	A _s <cmq>	A _{c eff} <cmq>	σ _s <daN/cmq>	ε _{sm}	Wk <mm>
23	-0.10	3.23	XX	12SLE Q	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	1052.74	0.31	0.10
23	-0.10	3.23	XX	11SLE F	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	1052.81	0.31	0.10
223	5.95	3.23	XX	12SLE Q	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	514.80	0.15	0.05
223	5.95	3.23	XX	11SLE F	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	536.16	0.16	0.05
42	5.04	12.90	YY	12SLE Q	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	1398.71	0.41	0.14
42	5.04	12.90	YY	11SLE F	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	1396.65	0.41	0.14
223	5.95	3.23	YY	12SLE Q	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	868.35	0.25	0.09
222	5.04	3.23	YY	11SLE F	39.00	200.00	0.50	22.00	198.57	22.81	1250.00	911.13	0.27	0.09

VERIFICA NEI CONFRONTI DEL GALLEGGIAMENTO

Durante la vita dell'opera la falda freatica potrebbe salire a livelli prossimi a quelli del piano campagna. In tale situazione il manufatto dovrebbe trovarsi anch'esso pieno di acqua.

Si è ritenuto comunque opportuno condurre la verifica nei confronti del sollevamento per galleggiamento nello scenario "eccezionale" di falda freatica a livello di piano campagna e manufatto vuoto.

Si riporta l'esito di tale verifica:

VALUTAZIONI SOLLEVAMENTO

QUOTA FALDA	39.00
QUOTA SBANCAMENTO	28.00

G1	n	L [m]	B [m]	H [m]	g1 [kN]
Peso soletta fondo		12.80	12.80	1.00	4,096.00
Peso soletta copertura		14.40	14.40	0.40	2,073.60
Peso pareti esterne		49.60	0.50	9.76	6,051.20
Peso pareti interne		21.20	0.40	9.76	2,069.12
Peso pali	60			16.00	12,063.60
					26,353.52

Vinst	H [m]	L [m]	B [m]	V [kN]
Pressione idraulica sulla soletta	11.00	12.80	12.80	18,022.40
Pressione idraulica sui pali	17.00	60	0.50265	5,127.03
				23,149.43

Verifica	1.0*Vinst	<	0.9*G1
	23,149.43	<	23,718.17

Si fa notare che, avendo assunto come quota della falda quella del piano di campagna la relativa azione instabilizzante non è stata ulteriormente amplificata per non avere uno scenario di carico fisicamente impossibile.

6.2 Opere provvisionali di sostegno

Al fine di poter realizzare in sicurezza il manufatto per alloggiamento delle pompe e degli organi di manovra, senza effettuare importanti opere di sbancamento che andrebbero ad interferire con le opere spondali del lago Azzurro, è stata prevista la realizzazione di una paratia provvisoria costituita da pali trivellati in c.a. da 80cm di diametro e 15.0m di lunghezza, posti su tutto il perimetro.

In particolare, si prevede di realizzare uno scavo di sbancamento fino alla quota di +37.00m s.l.m. dalla quale realizzare i pali di fondazione.

Prima di completare lo sbancamento all'interno della paratia fino alla quota di imposta della fondazione del nuovo manufatto, si prevede la realizzazione della trave ad anello di correa e l'installazione di puntelli di contrasto provvisori metallici come indicato nell'immagine sotto:

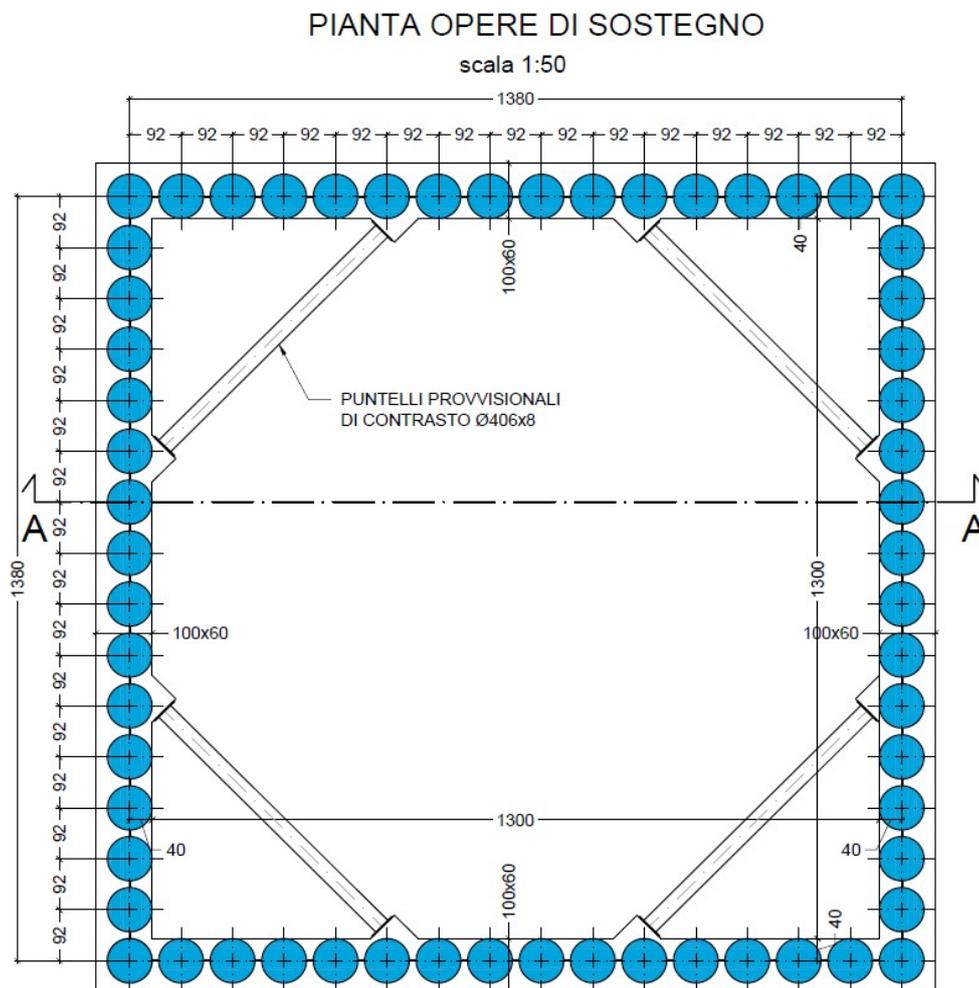


Figura 17: Pianta delle opere di sostegno dello scavo

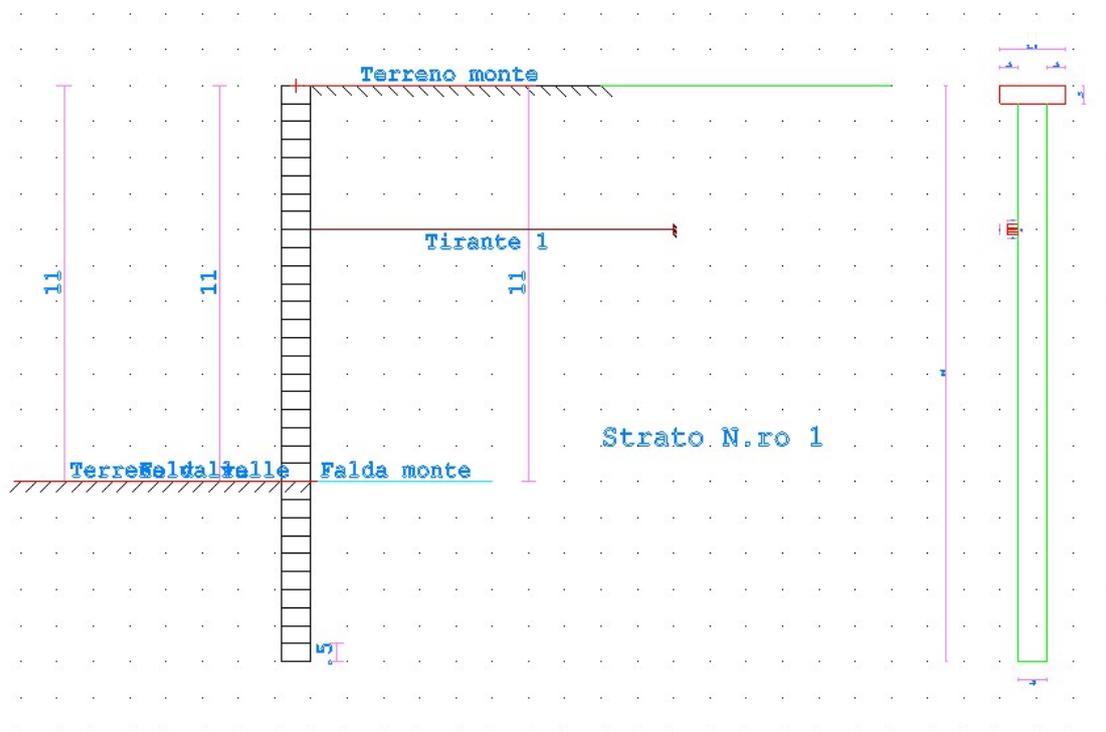
Il progetto delle opere di sostegno è stato effettuato con il seguente software:

- ✓ **C.D.B. Win**, prodotto da Software Tecnico Scientifico s.r.l. di Sant'Agata li Battiati (CT).

Si è analizzata la situazione più sfavorevole per le opere di sostegno che è rappresentata dal momento in cui sarà completato lo scavo per la realizzazione del manufatto ma non sarà ancora stata realizzata la soletta di fondazione.

Durante tali operazioni la falda freatica dovrà essere abbassata almeno fino alla quota di imposta delle fondazioni.

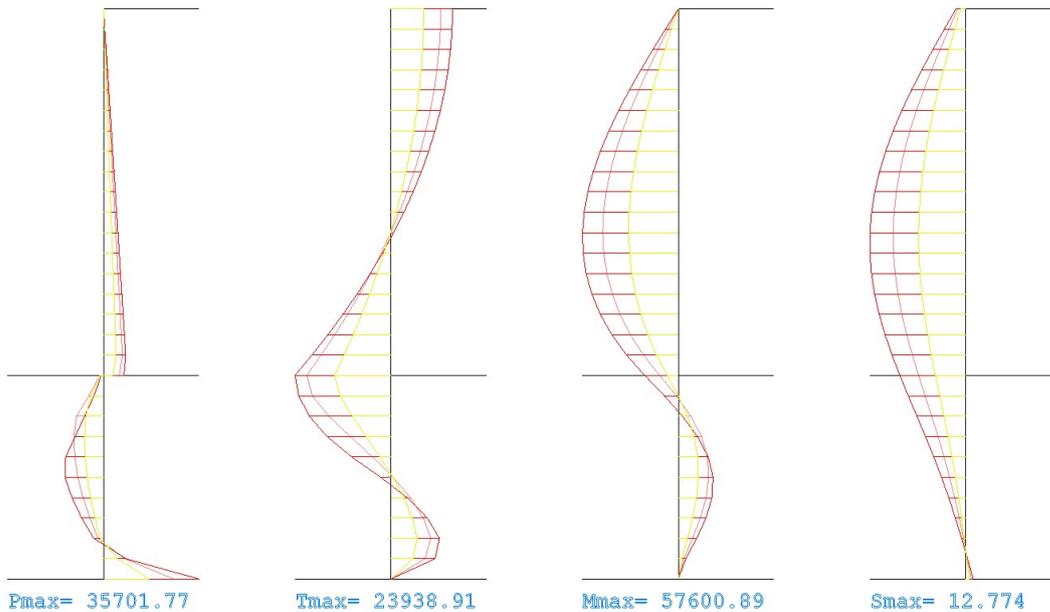
Si riporta sotto lo schema del modello di calcolo utilizzato, in cui i puntelli metallici di contrasto sono stati simulati con dei tiranti orizzontali:



Si riporta sotto una sintesi dei risultati ottenuti in termini di pressioni del terreno, sollecitazioni sui pali e spostamenti massimi attesi:

VERIFICHE DI SICUREZZA	
RISULTATI DI CALCOLO	
Momento flettente massimo [kg·m/m]	57601
Quota di momento flettente massimo [m]	5.50
Spostamento a fondo scavo [mm]	8.78
Scarto finale della analisi non lineare (E-04)	0
Convergenza analisi non lineare	SODDISFATTA
Infissione analisi non lineare	SUFFICIENTE
Coefficiente di sicurezza dell' infissione	2.0000
Moltiplicatore di collasso dei carichi	4.6000

DIAGRAMMI PRESSIONI E SOLLECITAZIONI PARATIA



Si riportano le verifiche di resistenza dei pali:

VERIFICHE DI RESISTENZA SEZIONI PARATIA A FLESSIONE											
VERIFICHE SEZIONI PARATIA IN C.L.S.											
Nr.	Quota (m)	Mf (kgm)	N (Kg)	Aa (cmq)	Comb. Mom.	eps Acc. (%)	eps CLS (%)	T (kg)	Tu (Kg)	Comb. Tagl.	passo st. (cm.)
1	0.50	6902		16.1	1	0.1061	-.0281	-13749	25114	1	30
2	1.00	13694		16.1	1	0.2543	-.0639	-13421	25114	1	30
3	1.50	20268		16.1	1	0.8029	-.1467	-12873	25114	1	30
4	2.00	26513		20.1	1	0.8570	-.1869	-12107	25114	1	30
5	2.50	32320		26.1	1	0.7618	-.1702	-11122	25114	1	30
6	3.00	37580		30.2	1	0.7046	-.1915	-9918	25114	1	30
7	3.50	42184		34.2	1	0.8593	-.2086	-8495	25114	1	30
8	4.00	46021		36.2	1	0.9504	-.2488	-6853	25114	1	30
9	4.50	48982		40.2	1	0.9195	-.2345	-4993	25114	1	30
10	5.00	50959		40.2	1	0.9274	-.2662	-2913	25114	1	30
11	5.50	51841		42.2	1	0.8367	-.2319	-615	25114	1	30
12	6.00	51519		42.2	1	0.7591	-.2238	2203	25114	0	30
13	6.50	49883		40.2	1	0.8574	-.2364	4639	25114	1	30
14	7.00	46825		38.2	1	0.7793	-.2116	7594	25114	1	30
15	7.50	42234		34.2	1	0.8814	-.2058	10768	25114	1	30
16	8.00	36002		28.1	1	0.8223	-.2084	14161	25114	1	30
17	8.50	28018		22.1	1	0.7987	-.1637	17773	25114	1	30
18	9.00	18189		16.1	1	0.6396	-.1299	21545	25114	1	30
19	9.50	7615		16.1	1	0.1171	-.0311	20749	25114	1	30
20	10.00	-6865		16.1	0	0.1055	-.0280	18367	25114	1	30
21	10.50	-12524		16.1	0	0.2046	-.0539	14400	25114	1	30
22	11.00	-16167		16.1	1	0.7481	-.1390	8850	25114	1	30
23	11.50	-18808		16.1	1	0.7875	-.1535	2312	25114	1	30
24	12.00	-18214		16.1	1	0.6456	-.1308	-4389	25114	0	30
25	12.50	-14978		16.1	1	0.4400	-.0929	-8193	25114	1	30
26	13.00	-9908		16.1	1	0.1525	-.0408	-10916	25114	1	30
27	13.50	-4016		16.1	1	0.0617	-.0162	-9927	25114	1	30
28	14.00	0		16.1	1	0.0000	0.0000	0	25114	1	30