

**OGGETTO: MI-E-792 - LAVORI DI
SISTEMAZIONE SPONDALE DEL
TORRENTE LURA NEL TRATTO
CITTADINO DEL COMUNE DI RHO (MI)**

PROGETTO ESECUTIVO

CUP: B49G13001580002

<p>ELABORATO:</p> <p>5</p>	<p>Relazione tecnico illustrativa ed analisi sismiche</p>	<p>DATA: Febbraio 2017</p>	<p>AGGIORNAMENTO:</p>
		<p>AGGIORNAMENTO: Giugno 2017</p>	<p>AGGIORNAMENTO:</p>
		<p>SCALA: ---</p>	

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:</p> <p>Dott. Ing. Luigi Mille</p> <p>SUPPORTO AL RUP:</p> <p>FT Geom. Stanislao Moccia</p>	<p>I COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE:</p> <p>Dott. Ing. Daniele Forcillo FT Geom. Stanislao Moccia FT Geom. Fabio Conti</p>
<p>IL PROGETTISTA:</p> <p>Dott. Ing. Gaetano La Montagna AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po Sede di Milano via Taramelli , 12 - 20124 Milano tel: 02/77714213 - 02/77714222 mail: gaetano.lamontagna@agenziapo.it</p>	<p>STUDIO GEOLOGICO:</p> <p>Dott. Geol. Luca Maffeo Albertelli via A. De Gasperi, 28 - 25047 Darfo Boario Terme (BS) tel: 035/4340011 mail: luca@cogeo.info</p> <p>SUPPORTO TECNICO ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA:</p> <div data-bbox="798 2049 1324 2184">  <p>DIZETA INGEGNERIA Via Bassini, 19 - 20133 MILANO Tel. 02-70600125 server@dizetaingegneria.it Fax 02-70600014 Direttore Tecnico Dott. Ing. Fulvio Bernabei</p> </div>

Legenda

1.INTRODUZIONE	2
2.ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO ADOTTATO	3
3.CARATTERISTICHE DEL TERRENO E PARAMETRI GEOTECNICI ADOTTATI	4
4.NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
5.CARATTERISTICHE DEL MODELLO AD ELEMENTI FINITI E SCHEMI STATICI IPOTIZZATI PER LA STRUTTURA	7
6.CARICHI GRAVANTI SULLA STRUTTURA	8
7.AZIONI DELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	14
8.MATERIALI UTILIZZATI	17
9.CRITERI D'INTERVENTO	19
10.VERIFICHE DEI RISULTATI DEI CALCOLI	20

1.INTRODUZIONE

La struttura analizzata è situata nel comune di Rho (MI) e si tratta di lavori di sistemazione spondale del torrente Lura in un tratto che si sviluppa in ambito urbano.

La situazione esistente è caratterizzata dalla presenza di un sistema strutturale composto da sponde in calcestruzzo armato, realizzate negli anni 80, i cui documenti di progettazione e realizzazione non sono pervenuti ad oggi.

Successivamente, nel 2010, a causa del crollo della sponda del canale per un tratto di circa 25m, sono stati effettuati interventi puntuali volti a ripristinare le condizioni necessarie per il corretto funzionamento dell'opera nella sua interezza.

Da ulteriori indagini ed accertamenti si è evinta la necessità di ulteriori interventi diretti a rinforzare altre porzioni di canale ormai compromesse alla sicurezza generale.

I sopralluoghi e le indagini cognitive e ricognitive precedentemente effettuate hanno messo alla luce che:

- la struttura esistente è priva di idoneo sistema di fondazioni.
- si sono verificati fenomeni di scalzamento al piede delle stesse fondazioni, processo avvenuto tramite l'azione erosiva dell'acqua che scorre nel canale.

L'ipotesi progettuale viene individuata nella progettazione di un manufatto scatolare in calcestruzzo armato inserito nella sezione utile del canale. Tale sistema porta al consolidamento delle porzioni di struttura esistenti, dismettendone le caratteristiche strutturali ed alla soluzione del problema relativo allo scalzamento al piede delle opere esistenti.

A seguito della volontà espressa dalle amministrazioni competenti, quali AIPO ed il Comune di Rho, vengono sviluppati i seguenti studi e le seguenti verifiche strutturali, in modo da riportare il sistema strutturale di deflusso delle acque in condizioni di sicurezza accettabili per la collettività.

La struttura ricade in **zona sismica 4**.

Viene utilizzato il D.M. 14/01/2008 e s.m.i. per la progettazione e verifica sismica.

Le verifiche sismiche sono state effettuate mediante realizzazione di un modello agli Elementi Finiti. Le operazioni di analisi numerica hanno visto l'impiego del codice di calcolo PRO_SAP.

L'analisi del comportamento di una costruzione sottoposta all'azione sismica parte dall'individuazione nella struttura di uno "schema sismo-resistente", preposto all'assorbimento della suddetta azione, che può coincidere con l'intera struttura o interessare solo una parte di essa. Gli elementi strutturali coinvolti in questo schema resistente vengono detti "elementi sismoresistenti".

2.ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO ADOTTATO

Le analisi numeriche sono state condotte con il programma PRO_SAP della società 2S.I. SOFTWARE E SERVIZI PER L'INGEGNERIA S.r.l. di FERRARA. Tale programma è pre e post-processore del codice di calcolo ALGOR SUPERSAP, prodotto dalla ALGOR INTERACTIVE SYSTEMS, Inc. Pittsburgh, PA, USA. Il solutore ALGOR SUPERSAP è stato sottoposto, con esito positivo e relativa certificazione, ai test NAFEMS (test di confronto della National Agency for Finite Element Methods and Standards), ed è soggetto ad attività di controllo ai sensi della QA (quality assurance), condizione essenziale per l'utilizzo dei codici di calcolo nell'ambito della progettazione nucleare ed off-shore.

3.CARATTERISTICHE DEL TERRENO E PARAMETRI GEOTECNICI ADOTTATI

I dati caratteristici del terreno e dei parametri geotecnici sono stati desunti dalla relazione geologica redatta dal Dott. Albertelli in sede di progettazione definitiva.

Tale documento viene integralmente allegato al presente progetto esecutivo in quanto si ritiene che i contenuti siano ampiamente sufficienti per poter definire i parametri utili per procedere con la progettazione delle opere strutturali previste in progetto. Non si è quindi ritenuto necessario svolgere ulteriori indagini e/o approfondimenti in sito.

In base alle indagini effettuate sul territorio oggetto di intervento ed alla rielaborazione della suddetta relazione geologica vengono adottati i seguenti parametri geotecnici.

Terreno di fondazione del canale :

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	9.10 kN/m ³
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	30.00 °
Coesione	$c'_f =$	0.00 kN/m ²

Terreno a lato del canale:

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	18.50 kN/m ³
Altezza falda dal piano di fondazione	$H_w =$	-1.000 m
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	30.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	18.66 °
Coesione	$c'_m =$	0.00 kN/m ²

Nelle considerazioni effettuate sui parametri geotecnici vengono adottati i coefficienti parziali sotto riportati e riferiti all' **approccio 2**.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	γ_{φ}	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_r	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_k per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,8$	$\gamma_k = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,1$	$\gamma_k = 1,1$

Date le caratteristiche tecniche riportate dalla relazione geologica si adotta coefficiente di Winkler verticale pari a 15 daN/cmc ed un coefficiente di Winkler orizzontale pari a 7,5 daN/cmc, desunti dalla bibliografia.

4.NORMATIVE DI RIFERIMENTO

[1] Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"

[2] NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008.

[3] Circolare Finalissima 02/02/2009 n°617 – Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

5.CARATTERISTICHE DEL MODELLO AD ELEMENTI FINITI E SCHEMI STATICI IPOTIZZATI PER LA STRUTTURA

È stato realizzato un modello matematico tridimensionale della struttura per i calcoli di verifica del comportamento sotto alle azioni di progetto .

La modellazione della struttura è stata realizzata considerando l'intero corpo come elemento sismo-resistente. La fondazione e le spalle sono stati discretizzati mediante elementi finiti di tipo D2 denominati "Beam" (Type 6 element), ogni elemento D2 è individuato da due nodi formulati nello spazio.

Sono previsti i seguenti tipi di comportamento per gli elementi di tipo D2:

- Elemento a sei gradi di libertà per nodo (denominato trave a comportamento lineare).
- Elemento a sei gradi di libertà per nodo su suolo elastico alla winkler (denominato trave di fondazione).

La struttura progettata viene definita "scatolare" e come tale presenta pareti incastrate alla base ad una platea di fondazione.

6.CARICHI GRAVANTI SULLA STRUTTURA

Le condizioni di carico elementari delle analisi oggetto della presente relazione sono le seguenti:

- a) Peso proprio della struttura
- b) Azione del terreno ai lati della struttura;
- c) Carichi accidentali;
- d) Acqua trasportata dal canale Lura;
- e) Valutazione dell'azione sismica;

- **a)) Peso proprio della struttura**

Calcolato automaticamente dal programma di calcolo.

- **b) Azione del terreno ai lati della struttura.**

Per determinare l'azione della terra, sostenuta dalle spalle del canale, considerando l'incremento dovuto all' azione sismica, è stata utilizzata la teoria Mononobe – Okabe, relazione che considera la spinta statica e dinamica insieme:

$$S_{AE} = \frac{1}{2} * \gamma * (1 \pm K_v) * K_{AE} * H^2$$

$$K_v = \beta_m * \frac{a_{max}}{g} \quad K_v = \pm 0,5 * K_H$$

$$S_{max} = S * a_g = S_s * S_T * a_g$$

Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:		RHO (MI)
Vita nominale	V _N =	50 anni
Tipo di costruzione	tipo =	2
Classe d'uso	Cl _U =	II
Coefficiente d'uso	C _U =	1.0
Periodo di riferimento	V _R =	50 anni
Probabilità di superamento	P _{Vr} =	10%
Periodo di ritorno	T _R =	475 anni
Fattore di amplificazione spettrale massima	F _o =	2.6800
Accelerazione orizzontale massima	a _g =	0.044 g
Zona sismica	zona =	4
Categoria di sottosuolo	suolo =	C
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S _s =	1.50000
Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale		

massima verifiche locali	$\beta_m^* =$	1.00000
verifica di stabilità globale	$\beta_s =$	0.20000
Categoria topografica	$C_T =$	T1
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1.00000
Coefficienti sismici per le verifiche locali		
orizzontale	$k_h =$	0.06615
verticale	$k_v =$	0.03308
Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale		
orizzontale	$k_h =$	0.01323
verticale	$k_v =$	0.00662

Con l'utilizzo del software PRO-MST viene calcolata la spinta attiva, con incremento dinamico, su un tratto di muro di larghezza 1 m.

Combinazioni

CMB	Tipo	γ_G	γ_Q	γ_E^*	γ_ϕ	$\gamma_{c'}$	γ_γ	R
1	STR	1.30	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00	R3
2	STR	1.30	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	R3
3	STR	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00	R3
4	STR	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	R3
5	SIS	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	R3
6	SIS	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	R3
7	SIS	1.00	0.60	+1.00	1.25	1.25	1.00	1
8	SIS	1.00	0.60	-1.00	1.25	1.25	1.00	1

Valori della spinta attiva del terreno di monte per metro di estensione del muro

Altezza di calcolo del terreno non immerso $H_{td} = 3.500$ m

Altezza di calcolo del terreno immerso $H_{tw} = 0.000$ m

Le spinte sono espresse in chilonewton e le coordinate in metri.

CMB	$S_{S,X}$	$S_{S,Y}$	Y_S	X_S	$S_{D,X}$	$S_{D,Y}$	Y_D	X_D	$S_{T,X}$	$S_{T,Y}$	Y_T	X_T
1	67.31	22.73	1.389	6.000	-	-	-	-	67.31	22.73	1.389	6.000
2	67.31	22.73	1.389	6.000	-	-	-	-	67.31	22.73	1.389	6.000
3	51.78	17.49	1.389	6.000	-	-	-	-	51.78	17.49	1.389	6.000
4	51.78	17.49	1.389	6.000	-	-	-	-	51.78	17.49	1.389	6.000
5	51.78	17.49	1.389	6.000	8.82	2.98	1.750	6.000	60.60	20.46	1.442	6.000
6	51.78	17.49	1.389	6.000	5.56	1.88	1.750	6.000	57.34	19.36	1.424	6.000
7	62.75	21.19	1.389	6.000	10.23	3.46	1.750	6.000	72.98	24.65	1.440	6.000
8	62.75	21.19	1.389	6.000	6.29	2.12	1.750	6.000	69.03	23.31	1.422	6.000

Legenda

$S_{S,X}$, $S_{D,X}$, $S_{T,X}$	componente orizzontale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
$S_{S,Y}$, $S_{D,Y}$, $S_{T,Y}$	componente verticale della spinta statica, dinamica, totale del terreno
Y_S , Y_D , Y_T	ordinata del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
X_S , X_D , X_T	ascissa del punto di applicazione della spinta statica, dinamica, totale
(le coordinate del punto di applicazione sono riferite al piede di valle della fondazione)	

E' stata applicata la combinazione 7, inerente all'azione sulle spalle del canale, per la verifica strutturale con l'impiego della modellazione agli elementi finiti.

- **c) Carichi accidentali**

Viene adottato un carico accidentale uniformemente distribuito pari a:
 $Q = 20 \text{ KN/mq}$.

- **d) Acqua trasportata dal canale Lura**

Le condizioni di carico relative alla presenza dell'acqua sono dovute ai momenti di piena in cui il carico prodotto è massimo adottando un peso specifico dell'acqua pari a 1.000 daN/mc .

- **e) Valutazione dell'azione sismica.**

Considerazioni generali

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* , l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare lo Spettro di Progetto.

Vita nominale

Ai sensi del paragrafo 2.4.1 del D.M. 14 gennaio 2008 si è valutata la vita nominale della struttura V_n , cioè il numero di anni nel quale la struttura, sottoposta alla normale manutenzione ordinaria, mantiene le caratteristiche che la rendono idonea ad essere usata per lo scopo al quale è destinata.

In particolare, in osservanza della Tab 2.4.I, essendo l'edificio destinato a opera idraulica, si assume che sia un'opera di tipo ordinario, cui corrisponde una vita utile di 50 anni.

Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono divise in diverse classi d'uso,

descritte nel §2.4.2 del D.M. 14 gennaio 2008.

L'edificio in oggetto è classificabile nella classe d'uso II: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti".

Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'azione sismica sulla costruzione si valuta (§ 2.4.3 D.M. 14 gennaio 2008) in relazione al periodo di riferimento V_r , che si ricava moltiplicando la vita nominale per il coefficiente d'uso C_u . Essendo $V_n = 50$ anni e, per la classe d'uso II $C_u = 1,0$

$$V_r = V_n \cdot C_u = 50 \cdot 1,0 = 50$$

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale del sisma è definito da:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e = a_g * S * \eta * F_o * \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta * F_o} * \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e = a_g * S * \eta * F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e = a_g * S * \eta * F_o * \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e = a_g * S * \eta * F_o * \left(\frac{T_C * T_D}{T^2} \right)$$

Dove T ed S_e sono, rispettivamente, il periodo e l'accelerazione spettrale;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

$$S = S_s \cdot S_T$$

F_o è il fattore che quantifica l'accelerazione spettrale massima;

T_C è il periodo che corrisponde all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

T_B è il periodo che corrisponde all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$$T_B = T_C / 3$$

T_D è il periodo che corrisponde all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante;

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione.

Per le categorie di sottosuolo C i coefficienti S_s e C_c valgono:

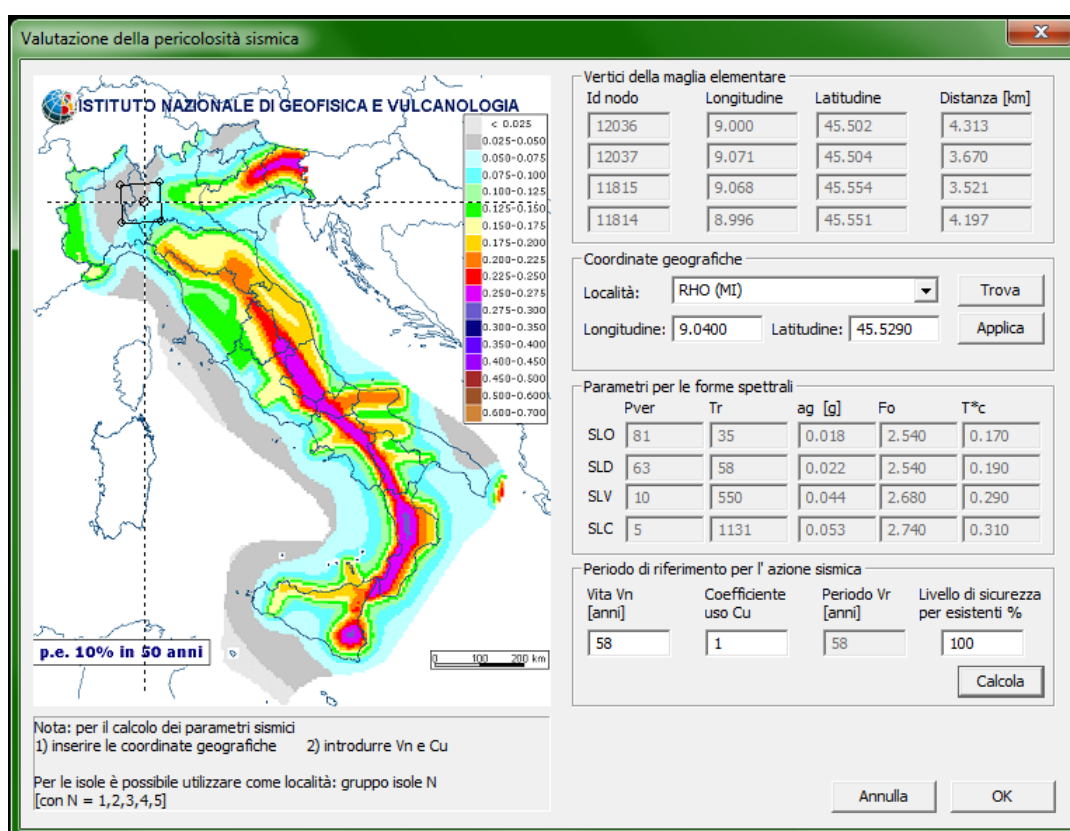
$$1,00 \leq S_s = 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$$

$$C_c = 1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20} g$$

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T si assume pari a 1,0 dato che la costruzione sarà realizzata su una superficie pianeggiante.

Lo spettro elastico risultante è rappresentato nel grafico sotto riportato.

Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) – spettro elastico.



I dati di progetto adottati nelle analisi sismiche sono i seguenti:

- **Zona sismica 4** (Ordinanza N. 3274 del 20/03/2003, allegato I e Bollettino Regione Lombardia – Mercoledì 16 luglio 2014).
- **Categoria di suolo di fondazione C:** *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti. (tabella 3.2.II)*
- **Categoria topografica T1:** *superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$.*
- **Classe di duttilità bassa CD"B".**

7.AZIONI DELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Limitatamente alle combinazioni di carico agli stati limite ultimi si utilizzeranno anche coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU, scelti in accordo alla tabella 2.6.I del D.M. 14 gennaio 2008 e facendo riferimento allo stato limite di resistenza della struttura (STR).

		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.

Le combinazioni di carico sono state combinate come richiesto dal D.M. Infrastrutture 14/01/2008 (cap. 2.5.3), venendo individuate nelle: combinazione fondamentale, combinazione frequente, combinazione quasi permanente, combinazione sismica.

Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Combinazione fondamentale

Le azioni sulla costruzione sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_P \times P + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

dove:

- G_1 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G_2 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P rappresenta la pretensione o la precompressione;
- Q carichi variabili agenti sulla struttura o sull'elemento strutturale
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- γ_G, γ_Q coefficienti parziali come definiti nella tabella 2.6.I del D.M. 14/01/2008;
- ψ_{0i} sono i coefficienti di combinazione come definiti nella tabella 2.5.I del D.M. 14/01/2008.

In zona sismica, oltre alle sollecitazioni derivanti dalle generiche condizioni di carico statiche, devono essere considerate anche le sollecitazioni derivanti dal sisma. L'azione sismica è stata combinata con le altre azioni secondo la seguente relazione:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \times Q_{ki}$$

dove:

- E azione sismica per lo stato limite e per la classe di importanza in esame;
- G_1 rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G_2 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P rappresenta pretensione e precompressione;
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_i ;
- Q_{ki} valore caratteristico dell'azione variabile Q_i .

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} \times Q_{ki})$$

I valori dei coefficienti ψ_{2i} sono riportati nella tabella 2.5.I, D.M. 14 gennaio 2008.

Stati Limite di Esercizio

Allo Stato Limite di Esercizio le sollecitazioni sono state ricavate applicando le formule riportate nel D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni - al punto 2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

combinazione rara

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \times Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

combinazione frequente

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + \psi_{11} \times Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \times Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

combinazione
permanente

$$\text{quasi } F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + \psi_{21} \times Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \times Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

dove:

- G_{Kj} valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- P_{kh} valore caratteristico della h-esima deformazione impressa;
- Q_{k1} valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
- Q_{ki} valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\psi_{0i} \ \psi_{1i} \ \psi_{2i}$ coefficienti di combinazione delle azioni variabili.

Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione STR e stato limite di resistenza del terreno GEO è stato adottato **l'approccio 2 (A1,M1,R3)** (cap2.6.1).

Le azioni indotte dai sismi sulla struttura sono state calcolate automaticamente dal codice PRO_SAP mediante analisi statica.

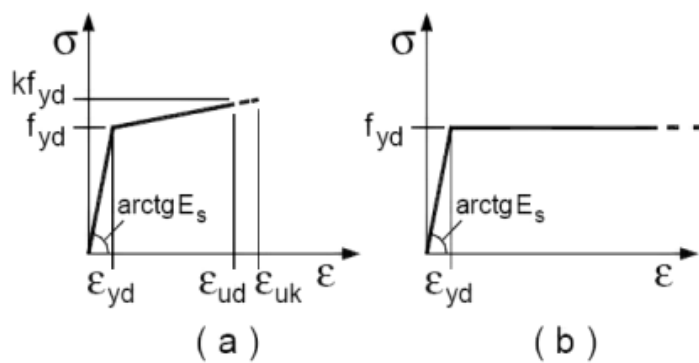
8.MATERIALI UTILIZZATI

Acciaio per c.a.

Si utilizza acciaio di classe **B 450 C** per il quale si riportano i seguenti valori:

Classe acciaio	B 450 C
Modulo elastico E_s [MPa]	206.000,00
Peso specifico [kN/m ³]	78,50
Tensione caratt. di snervamento f_{yk} [MPa]	450,00
Coeff. parziale di sicurezza γ_s	1,15
Tensione di snervamento di progetto f_{yd} [MPa]	391,30
$\sigma_{s,adm}$ [MPa]	260,00

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.3 del D.M. 14 gennaio 2008; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in fig. (b).

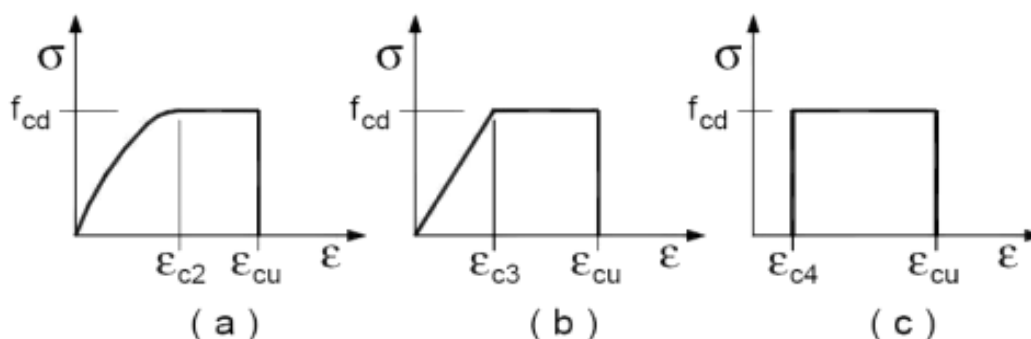


Calcestruzzo

Campo di impiego	Classe di resistenza [MPa]	Classe di esposizione ambientale	Rapporto a/c massimo	Cont. min. di cemento [kg/m ³]	D max aggregato [mm]	Classe di consistenza al getto	Copriferro nominale [mm]
FONDAZIONI	C 28/35	XC2	0,55	320	32	S4	40
SPALLE	C 28/35	XC2	0,55	320	32	S4	40

Classe CLS	C 28/35
Modulo elastico E_c [MPa]	32.308,00
Peso specifico [kN/m ³]	25,00
Resistenza cubica R_{ck} [MPa]	35,00
Resistenza cilindrica f_{ck} [MPa]	28,00
Coeff. parziale di sicurezza γ_c	1,50
Resist. di calcolo a compressione f_{cd} [MPa]	15,86
$\sigma_{c,adm}$ [MPa]	11,00
τ_{c0} (con armatura minima a taglio) [MPa]	0,66
τ_{c0} (con specifica armatura a taglio) [MPa]	1,97

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008.



La deformazione massima $\epsilon_c \max$ è assunta pari a 0,0035.

9.CRITERI D'INTERVENTO

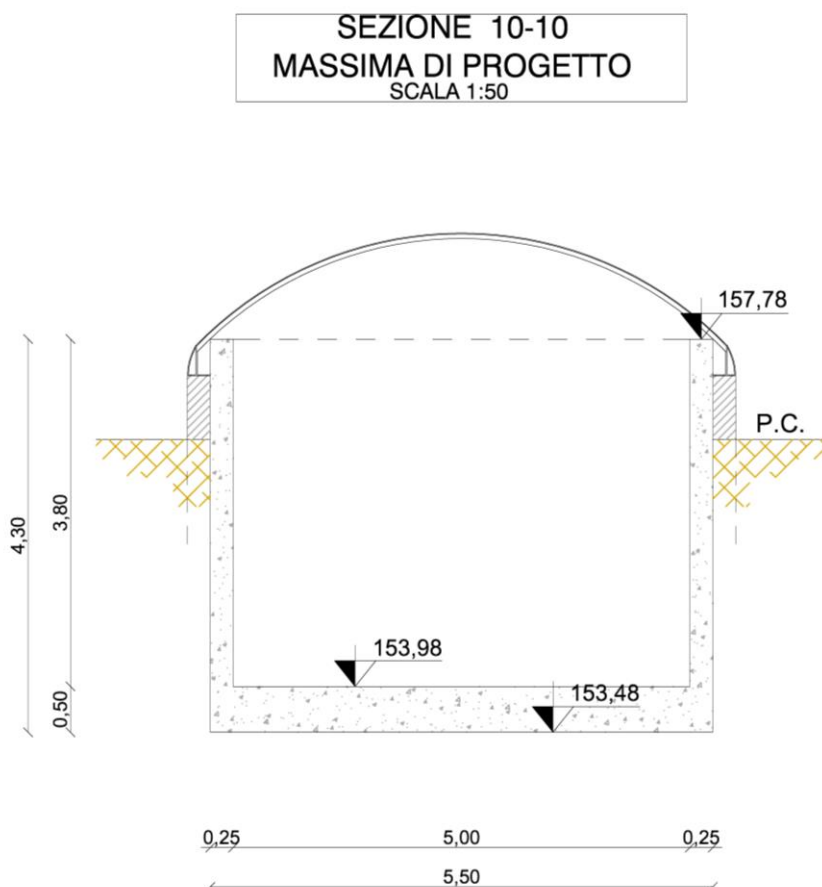
Il canale è situato in ambito cittadino e presenta le seguenti caratteristiche geometriche.

Geometria tipo delle SPALLE e della FONDAZIONE dell'elemento scatolare:

Altezza della spalla realizzata in calcestruzzo armato	380 cm
Spessore della spalla realizzata in calcestruzzo armato	25 cm
Spessore della fondazione realizzata in calcestruzzo armato	50 cm
Larghezza interna del canale	500 cm

Riferimenti elaborati grafici *tavole 11 e 12* – Esecutivi strutturali e particolari costruttivi.

Disegno nuovo elemento sezione tipo



10.VERIFICHE DEI RISULTATI DEI CALCOLI

Le verifiche a cui il progetto della sezione scatolare di rinforzo deve essere sottoposta sono:

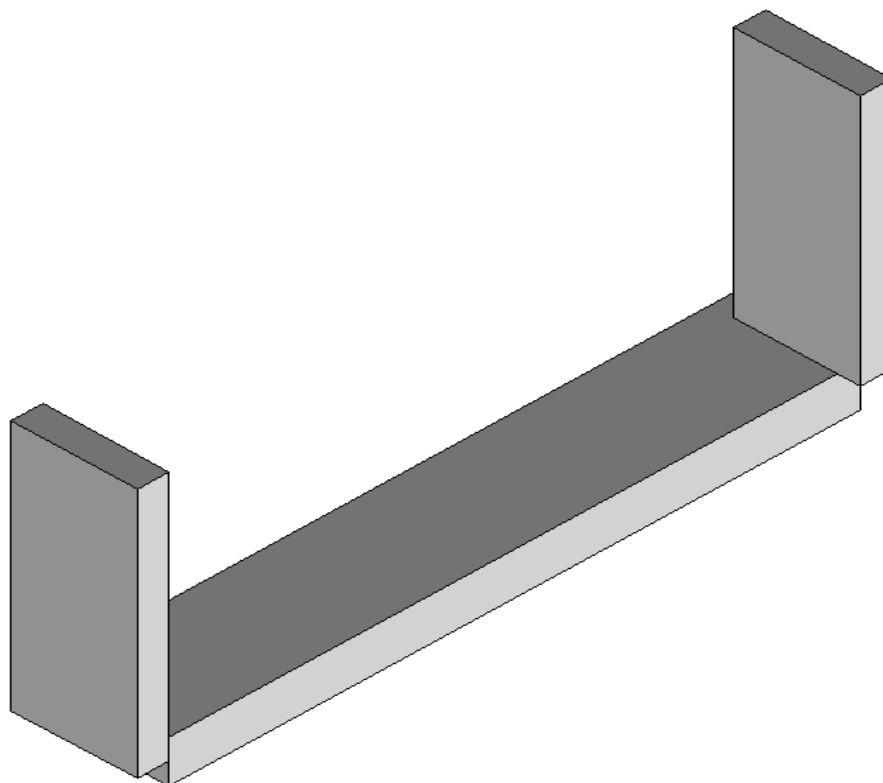
Verifica della resistenza meccanica dei materiali.

Questa verifica viene usualmente eseguita con riferimento al singolo concio di lunghezza 1 ml della sezione supposto isolato dagli altri, non tenendo conto cioè dell'eventuale iterazione reciproca tra i conci, tranne nei casi in cui questa risulta significativa.

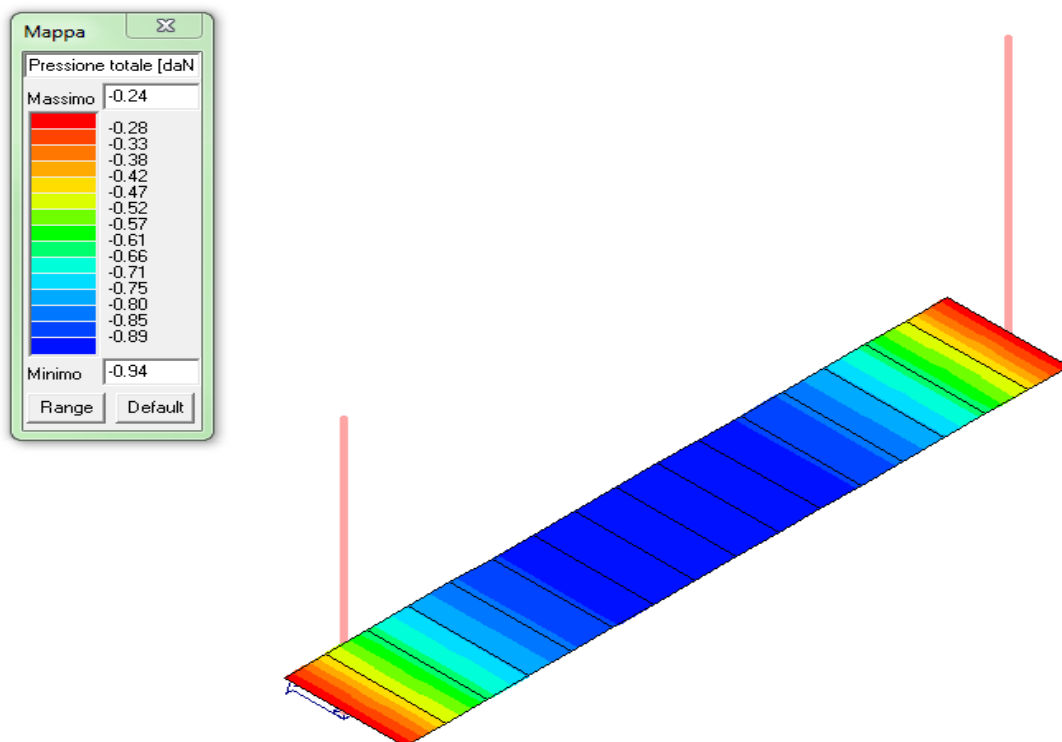
La verifica di resistenza meccanica del materiale viene eseguita considerando l'acqua fino al massimo livello e con un sisma in atto (peso proprio, azione del sovraccarico, spinta idrostatica, spinta della terra e azioni sismiche).

La geometria del modello ad elementi finiti, la tipologia degli elementi, le caratteristiche dei materiali, i carichi, le loro combinazioni pertanto i risultati più significativi delle analisi numeriche sono acquisiti e valutati interattivamente mediante mappature cromatiche nelle sessioni di calcolo, e riportati nelle relazioni in forma grafica.

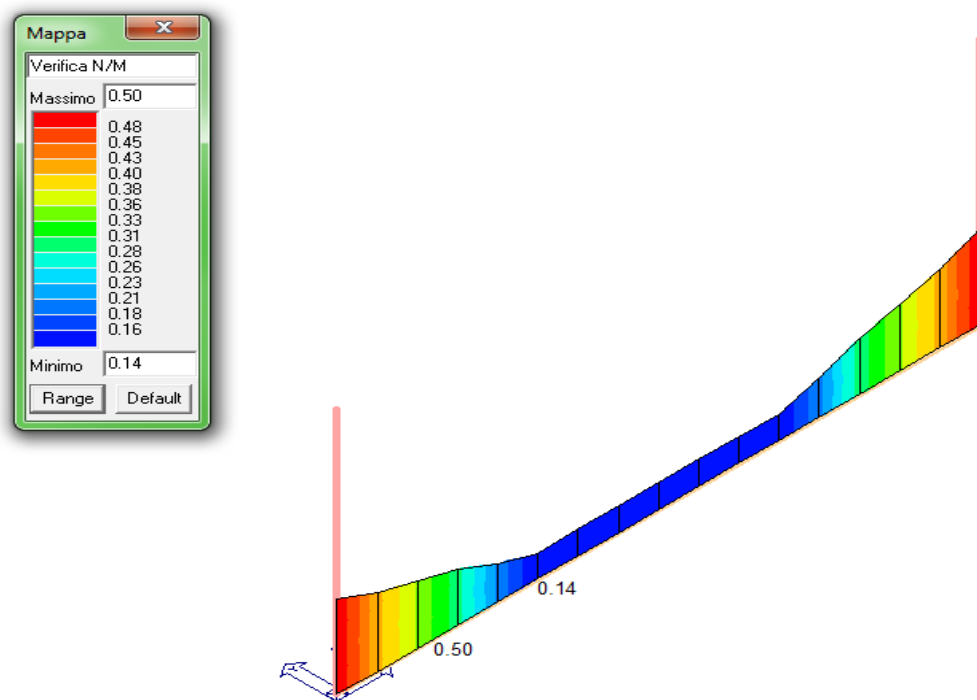
Si riportano di seguito la visualizzazione solida del modello ad elementi finiti e alcune delle verifiche svolte:



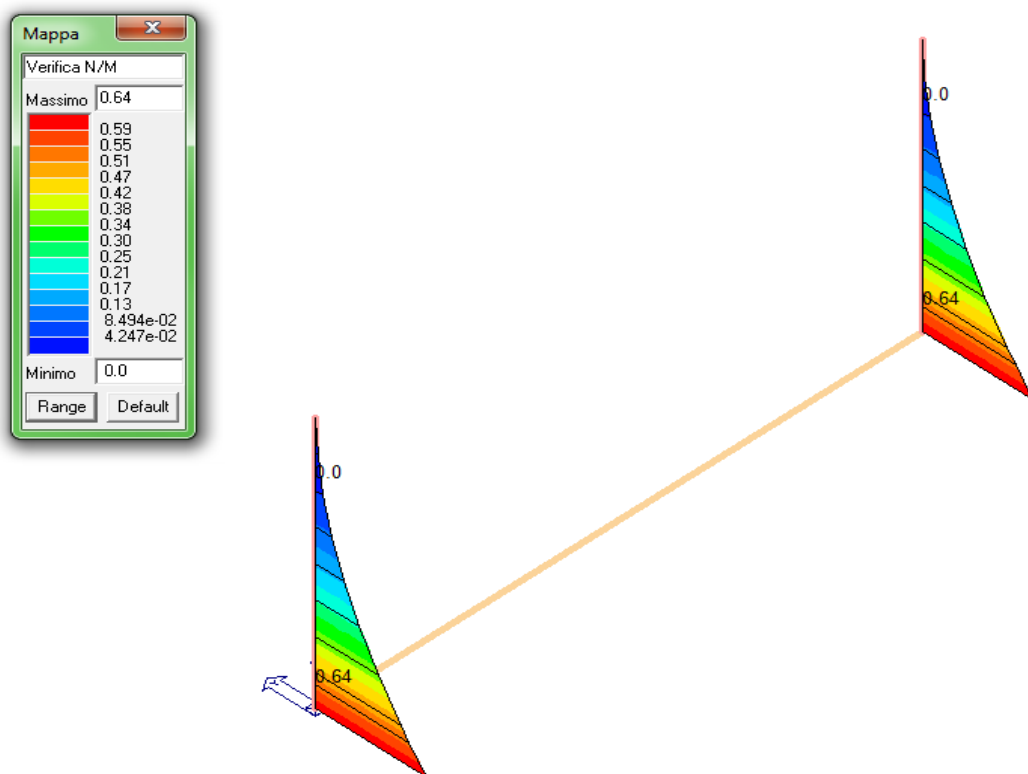
La *Figura 1* è inerente alla visualizzazione solida del modello ad elementi finiti.



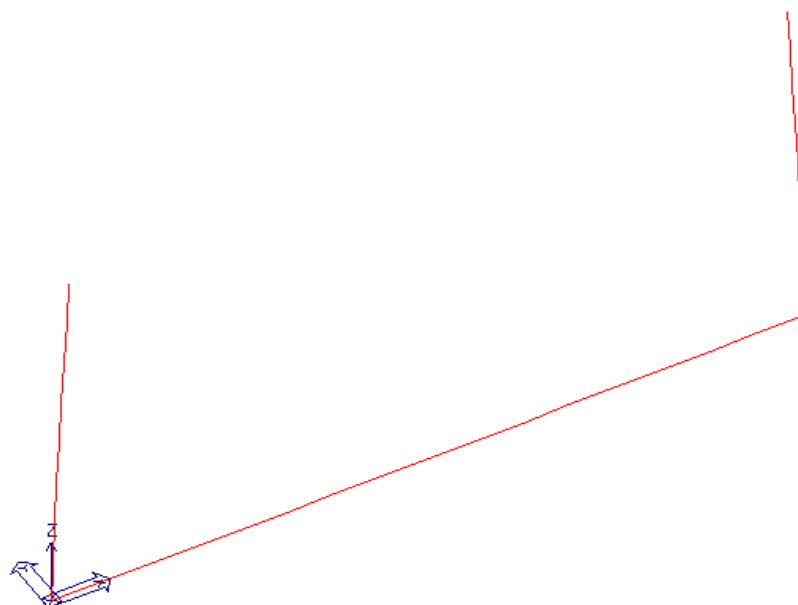
La *Figura 2* permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, delle tensioni sul terreno sottostante al canale.



La *Figura 3* permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, delle tensioni determinate all'interno della platea di fondazione come $N/M \leq 1$.



La *Figura 4* permette la visualizzazione, mediante mappa di colore, delle tensioni determinate all'interno della spalle come $N/M \leq 1$.



La *Figura 5* permette la visualizzazione della deformata.

- ultima pagina -