



CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

Sede legale e recapito postale:

44121 Ferrara - Via Borgo dei Leoni, 28 - C.F. 93076450381

web: www.bonificaferrara.it - e-mail: info@bonificaferrara.it

pec: posta.certificata@pec.bonificaferrara.it

aderente all' 

Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari

PROGETTO CIARLE NORD

PROGETTO ESECUTIVO

Provincia di Ferrara

Comuni di Terre del Reno e Vigarano Mainarda

**LAVORI DI IMPLEMENTAZIONE PRIMARIA DEL SISTEMA IRRIGUO
CIARLE NEI COMUNI TERRE DEL RENO E VIGARANO MAINARDA (FE)
CONDOTTO DISTRIBUTORE NORD.**

CUP: J34E21001450001

CALCOLI STRUTTURALI

RELAZIONI DI CALCOLO STRUTTURE IN C.A. MURI AD ALA INIZIO CONDOTTO TUBATO

Data: **09.11.2021**

Elab.:

E.1.3

IL PROGETTISTA

(Dott. Ing. Massimo Garutti)

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Dott. Ing. Marco Volpin)

Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Data
A					
B					
C					

<i>Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti</i>	<i>Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA</i>	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 3 di 20

INDICE

1	ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE ...	4
2	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	7
3	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO	8
4	ANALISI DEI CARICHI	9
5	PROGETTO E VERIFICA MURI DI SOSTEGNO	10

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 4 di 20

1 ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

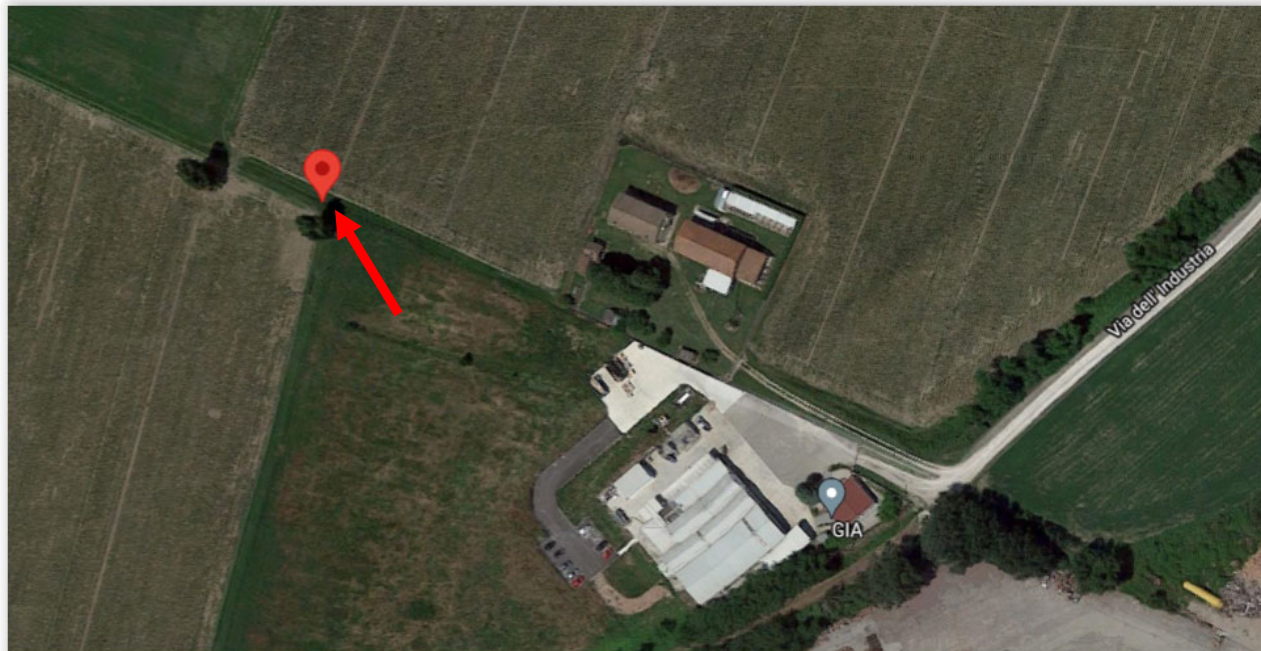
Oggetto della presente relazione sono i *calcoli strutturali* inerenti i **nuovi muri d'ala ad inizio tratto intubato ("C")**, nell'ambito del progetto esecutivo per *"Lavori di implementazione primaria del sistema irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda (FE), Condotto distributore nord"*.

L'intervento prevede la realizzazione di **muri d'ala**. Gli stessi saranno realizzati con **struttura in c.a. gettata in opera** costituita da **basamento di spessore 50cm** e **muri di spessore 40cm**.

In ottemperanza alla *Deliberazione della Giunta Regionale Emilia Romagna del 26 Settembre 2011, n°. 1373*, in questo primo capitolo si riportano gli elementi essenziali del progetto strutturale come definitivo al *punto B.2.2.* della suddetta Delibera.

- a) *Descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito oggetto di intervento e con l'indicazione, per entrambe le tematiche, di eventuali problematiche riscontrate e delle soluzioni ipotizzate, tenuto conto anche delle indicazioni degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;*

Il sito è identificato dalle seguenti coordinate geografiche: **latitudine 44.817242°, longitudine 11.437680°**. Sono state eseguite specifiche indagini geologiche; in particolare l'indagine più prossima al punto d'intervento è la SCPTU n°.1 eseguita nel 2004. La **categoria di sottosuolo** viene assunta **"D"**.



Vista Google Maps – localizzazione manufatto

A seguire si riportano alcune informazioni inerenti il terreno di fondazione. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologico-geotecnica allegata.

Il livello piezometrico della falda freatica misurata in corrispondenza della prova CPTU n°.1 è risultata a -0.90m da piano campagna.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotta Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 5 di 20

Riguardo le verifiche di possibile liquefazione, il Potenziale è risultato, con riferimento a tutte le indagini CPTU eseguite, “Basso” o “Nullo”.

Tabella 7- Modello geotecnico del sottosuolo

Prova CPT C1	Quota base strato da p.c.	Resistenza alla punta	Resistenza di attrito laterale	Yi F. (2010)	Robertson & Cabal (2009) mod.	Robertson (2010)	Mayne et al (2014)	Jamiolkowski et al (2001)	Mayne (2009)	Togliani (2012)	G = p - Vs²	Lambe & Withman (1983)	μ	NHCPR 2007 (mod.)
Litotipo Robertson (1986)	Z (cm)	Qt (MPa)	fs (kPa)	FC%	γt (kN/m³)	su (kPa)	Φ' (°)	Dr (%)	OCR	Mo (MPa)	Go (MPa)	Ey (MPa)		C' (MPa)
Argilla limosa - Argilla	0.60	0.88	18.24	90	16.7	52	27	-	26.7	12.8	8.2	7.9	0.45	11.7
Limo argilloso - Argilla limosa	1.20	1.12	24.75	80	16.6	49	26	-	6.1	5.4	12.6	12.1	0.45	10.6
Argilla limosa - Argilla	1.60	0.92	35.73	95	17.1	46	25	-	8.2	8.5	16.2	15.3	0.42	20.2
Limo argilloso - Argilla limosa	2.00	1.38	32.26	72	16.8	58	27	-	5.0	6.5	16.4	15.8	0.45	17.3
Limo sabbioso	2.40	1.94	25.27	61	17.1	-	33	31	2.7	10.7	21.8	18.0	0.24	2.1
Argilla limosa - Argilla	3.00	1.05	36.18	89	17.1	48	25	-	5.0	7.2	23.7	22.5	0.42	25.2
Limo sabbioso	3.60	2.41	28.11	50	16.9	-	34	33	2.4	13.2	27.3	22.7	0.25	2.7
Limo argilloso - Argilla limosa	4.00	1.12	19.09	81	16.7	47	25	-	2.5	4.9	16.9	16.1	0.42	20.2
Argilla limosa - Argilla	13.40	0.81	29.00	94	16.6	33	22	-	1.7	4.0	30.1	27.7	0.38	31.3
Limo argilloso - Argilla limosa	14.80	1.98	53.39	73	17.8	58	26	-	1.1	8.3	48.0	44.8	0.40	34.5

Modello geotecnico – CPT n°1

Il modello geotecnico evidenzia, nei primi strati, un angolo di attrito interno prossimo a 25° ed una coesione non drenata di circa 40-50 kPa.

- b) *Descrizione generale della struttura, sia in elevazione che in fondazione, e della tipologia di intervento, con indicazione delle destinazioni d'uso previste per la costruzione, dettagliate per ogni livello entro e fuori terra, e dei vincoli imposti dal progetto architettonico;*

Come anticipato, trattasi di **muri d'ala in c.a. gettati in opera** costituiti da **basamenti e muri**.

- c) *Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati, tra cui le eventuali prescrizioni sismiche contenute negli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;*

- D.M. 17/01/2018

- Circolare esplicativa 21 gennaio 2019 n°7;

- d) *Definizione dei parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica di base del sito (vita nominale - VN, classe d'uso, periodo di riferimento - VR, categoria del sottosuolo, categoria topografica, amplificazione topografica, zona sismica del sito, coordinate geografiche del sito), delle azioni considerate sulla costruzione e degli eventuali scenari di azioni eccezionali;*

I parametri per la definizione dell'azione sismica sono:

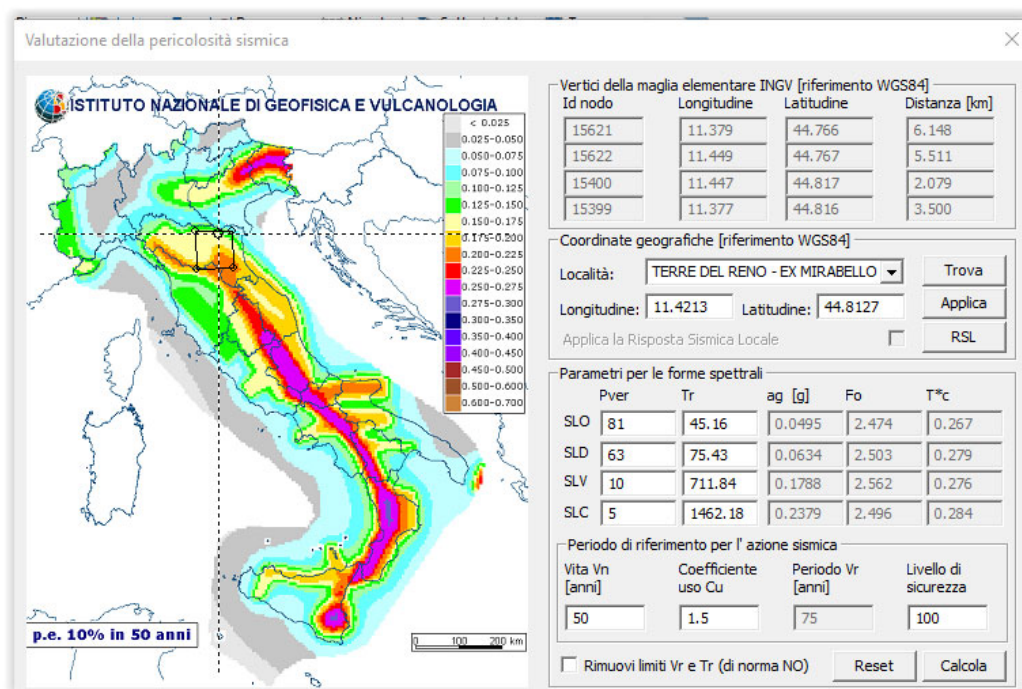
- coordinate geografiche specifiche del sito;

- $V_n = 50$ anni, **Classe d'uso = III** ($C_u = 1.5$); **$V_R = 75$ anni.**

- Categoria di sottosuolo: "D" (cautelativamente e in assenza di indagini specifiche);

- Categoria T1: sub-pianeggiante.

Ne deriva un'accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale allo SLV pari a **0.179 [g]**.



Pericolosità sismica del sito

e) *Descrizione dei materiali e dei prodotti per uso strutturale, dei requisiti di resistenza meccanica e di durabilità considerati;*

- **Calcestruzzo C32/40 per tutte le strutture in c.a. sia gettate in opera**

- rapporto a/c ≤ 0.50 ;
- contenuto minimo di calcestruzzo = 340 kg/mc;
- ricoprimento armature: 40mm.

- **Acciaio d'armatura B450C per strutture in c.a. gettate in opera.**

f) *Illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione: classe di duttilità - CD, regolarità in pianta ed in alzato, tipologia strutturale, fattore di struttura - q e relativa giustificazione, stati limite indagati, giunti di separazione fra strutture contigue, criteri per la valutazione degli elementi non strutturali e degli impianti, requisiti delle fondazioni e collegamenti tra fondazioni, vincolamenti interni e/o esterni, schemi statici adottati;*

Le strutture vengono calcolate in condizioni statiche e sismiche. Si adotta un fattore di comportamento unitario.

g) *Indicazione delle principali combinazioni delle azioni in relazione agli SLU e SLE indagati: coefficienti parziali per le azioni, coefficienti di combinazione;*

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

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

Combinazione caratteristica (rara) SLE ---> $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$

Combinazione frequente SLE ---> $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 7 di 20

Combinazione quasi permanente SLE ---> $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$

Combinazione sismica ---> $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$

- h) *Indicazione motivata del metodo di analisi seguito per l'esecuzione della stessa: analisi lineare o non lineare (precisazione del fattore $Q = P \cdot d/V \cdot h$), analisi statica o dinamica (periodo $T_1 < 2.5T_C$ o T_D , regolarità in altezza).*

Il tipo di analisi eseguita è la "statica lineare".

- i) *Criteri di verifica agli stati limite indagati, in presenza di azione sismica: - stati limite ultimi, in termini di resistenza, di duttilità e di capacità di deformazione, - stati limite di esercizio, in termini di resistenza e di contenimento del danno agli elementi non strutturali;*

Si veda precedenti punti f) e g).

- j) *Rappresentazione delle configurazioni deformate e delle caratteristiche di sollecitazione delle strutture più significative, così come emergenti dai risultati dell'analisi, sintesi delle verifiche di sicurezza, e giudizio motivato di accettabilità dei risultati;*

Si rimanda ai paragrafi successivi.

- k) *Caratteristiche ed affidabilità del codice di calcolo*

Per il calcolo si adotta il software *PRO_SAP professional* vers.21.9.1 distribuito dalla *2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l.* Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software e dei relativi moduli ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. E' possibile reperire la documentazione sull'affidabilità al link: <http://www.2si.it/affidabilita.php>.

- l) *Con riferimento alle strutture geotecniche o di fondazione: fasi di realizzazione dell'opera (se pertinenti), sintesi delle massime pressioni attese, cedimenti e spostamenti assoluti/differenziali, distorsioni angolari, verifiche di stabilità terreno-fondazione eseguite, ed altri aspetti e risultati significativi della progettazione di opere particolari;*

Le strutture saranno realizzate effettuando lo scavo del terreno per l'area interessata dalle lavorazioni. Verranno realizzate prima le strutture in c.a. gettate in opera costituite da platea/basamento e relativi muri d'ala ed, a seguire, sarà posata la tubazione prefabbricata a sezione rettangolare. Saranno poi realizzati dei cordoli in c.a. gettati in seconda fase per connettere gli scatolari al basamento.

Per le valutazioni di carattere geotecnico si rimanda al paragrafo specifico riportato nel seguito.

- m) *Indicazione della categoria di intervento previsto e motivazione della scelta adottata;*

L'intervento è inquadrabile come di **"nuova costruzione"**,

2 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

- D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni"

- Circolare esplicativa 21 gennaio 2019 n°.7 alle NTC2018;

- DGR ER 2272/16 "Atto di indirizzo recante l'individuazione degli interventi privi di rilevanza per la

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 8 di 20

pubblica incolumità ai fini sismici e delle varianti in corso d'opera, riguardanti parti strutturali, che non rivestono carattere sostanziale, ai sensi dell'articolo 9, comma 4, della l.r. n. 19 del 2008”;

- UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;

- UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006 (per quanto attiene condizioni ambientali e Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale)

3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO

La sicurezza e le prestazioni delle opere (comprese le sue delle sue singole parti) vengono valutate conformemente a quanto prescritto dal D.M. Infrastrutture e Trasporti 17 gennaio 2018 ed allegate norme tecniche in relazione agli stati limite che possono verificarsi durante la vita nominale. In particolare, le strutture sono verificate:

a) per gli **stati limite ultimi (SLU)**;

b) per gli **stati limite di esercizio (SLE)**.

La **vita nominale** dell'opera strutturale V_n (numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta a manutenzione ordinaria, deve possedere per essere usata per lo scopo al quale è destinata) è fissata pari a **50 anni (Opere ordinarie)**.

Per quanto attiene le **condizioni ambientali** si ritiene sia necessario garantire **XC2** e **XA2**.

2 Corrosione indotta da carbonatazione						
Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi su può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.						
2 a	XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa o immerse in acqua.	0,60	C 25/30	
2 a	XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	0,60	C 25/30	
5 a	XC3	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XC4	I Ciclicamente asciutto e bagnato.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2.	0,50	C 32/40	

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 9 di 20

6 Attacco chimico**						
5 a	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.	0,50	C 32/40	
5 c	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquame provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi di gas di scarico industriali.	0,45	C 35/45	
*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: - moderato: occasionalmente gelato in condizione di saturazione; - elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione. **) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.						

Per garantire **XC2** occorre che:

- il rapporto a/c sia ≤ 0.60 ;
- il calcestruzzo sia C25/30;
- il contenuto minimo di calcestruzzo sia pari a 300 kg/mc.

Per garantire **XA2** occorre che:

- il rapporto a/c sia ≤ 0.50 ;
- il calcestruzzo sia C32/40;
- il contenuto minimo di calcestruzzo sia pari a 340 kg/mc.

Sia per quanto riguarda gli **scatolari** prefabbricati sia per le **strutture in c.a. in opera** si prescrive la **condizione ambientale XC2 + XA2**.

Per quanto attiene le **strutture in c.a. in opera**, si prescrive quindi:

- rapporto a/c ≤ 0.50 ;
- calcestruzzo almeno C32/40;
- contenuto minimo di calcestruzzo = 340 kg/mc;
- ricoprimento armature: **40mm**.

Gli acciai impiegati per le strutture gettate in opera saranno ordinarie (armature poco sensibili - B450C).

4 ANALISI DEI CARICHI

I pesi propri delle strutture sono computati automaticamente dal software di calcolo così come le azioni indotte dal terreno. Si assume un terreno omogeneo con densità 19 kN/mc ed angolo di resistenza al taglio 25°.

La **falda** è assunta cautelativamente a **-0.50m da piano campagna**; le relative spinte sono determinate in automatico dal programma di calcolo. Si assume un sovraccarico di **20 kN/mq** a tergo della parete e si assume, a favore di sicurezza sul lato canale a cielo aperto, l'assenza di acqua.

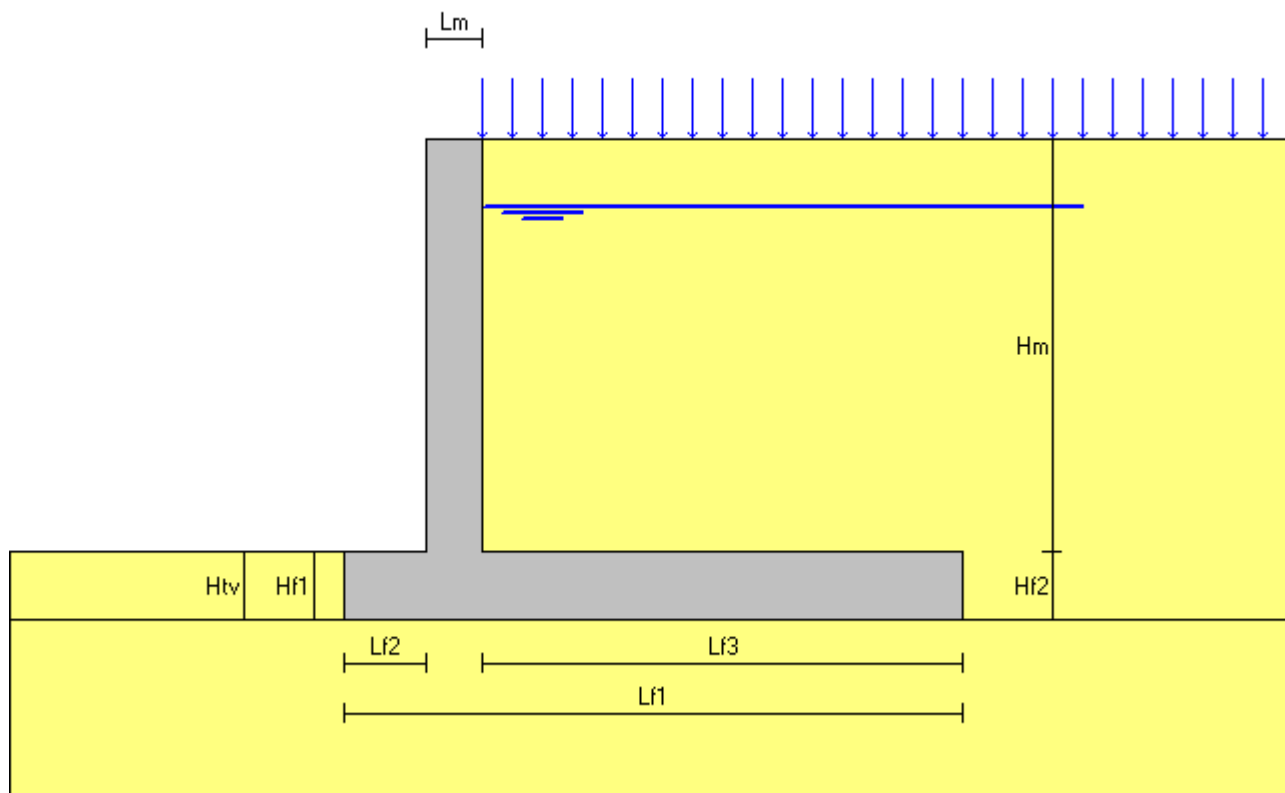
L'**altezza netta** della **parete** è assunta almeno di **3m**.

Le azioni sismiche sono determinate come meglio specificato a seguire.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 10 di 20

5 PROGETTO E VERIFICA MURI DI SOSTEGNO

Si effettua la verifica con riferimento al muro di sostegno di maggiori dimensioni posto a monte dell'inizio del condotto interrato. L'altro muro di sostegno ha dimensioni inferiori e presenta un basamento di maggior lunghezza sulla quale saranno posati due pozzetti prefabbricati. Il dimensionamento riportato a seguire viene esteso ad entrambi i manufatti.



Descrizione dell'opera

Tipo di opera:	muro in calcestruzzo armato
Tipo di sovrastruttura:	paramenti piani
Tipo di fondazione:	piana orizzontale

Caratteristiche geometriche

Mensola in elevazione

Altezza paramento	$H_m =$	3.000 m
Spessore in sommità	$L_{m1} =$	0.400 m
Spessore alla base	$L_{mb} =$	0.400 m
Inclinazione paramento esterno	$\beta_e =$	0.00 °
Inclinazione paramento interno	$\beta_i =$	0.00 °

Soletta di fondazione

Estensione	$E_f =$	7.400 m
------------	---------	---------

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 11 di 20

Lunghezza totale	$L_{f1} =$	4.500 m
Lunghezza mensola a valle	$L_{f2} =$	0.600 m
Altezza bordo libero mensola a valle	$H_{f1} =$	0.500 m
Lunghezza mensola a monte	$L_{f3} =$	3.500 m
Altezza bordo libero mensola a monte	$H_{f2} =$	0.500 m
Altezza rinterro mensola a valle	$H_{tv} =$	0.500 m
Inclinazione piano di fondazione	$\psi_f =$	0.00 °

Angolo di inclinazione terrapieno $\alpha =$ 0.00 °

Materiali utilizzati

Peso specifico del muro $\gamma_m =$ 25.00 kN/m³

Caratteristiche calcestruzzo

Classe di resistenza		C32/40
Resistenza caratteristica	$R_{ck} =$	40.0 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18.8 N/mm ²

Caratteristiche armature

Tipo acciaio		B 450 C
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	391.3 N/mm ²

Caratteristiche geotecniche dei terreni

Terreno a valle del muro

Peso specifico	$\gamma_{tv} =$	17.00 kN/m ³
Angolo di attrito	$\varphi_v =$	25.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_v =$	10.00 °
Coesione	$c'_v =$	25.00 kN/m ²

Terreno di fondazione del muro

Peso specifico	$\gamma_{tf} =$	17.00 kN/m ³
Angolo di attrito	$\varphi_f =$	25.00 °
Coesione	$c'_f =$	25.00 kN/m ²

Terreno a monte del muro

Peso specifico	$\gamma_{tm} =$	19.00 kN/m ³
Peso specifico saturo	$\gamma_{ts} =$	11.00 kN/m ³
Altezza falda dal piano di fondazione	$H_w =$	3.000 m
Angolo di attrito	$\varphi_m =$	25.00 °
Angolo di attrito terra-muro	$\delta_m =$	15.00 °
Coesione	$c'_m =$	12.50 kN/m ²

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 12 di 20

Carichi applicati

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente strutturale

Uniforme a valle del muro	$G1_{uv} =$	0.00 kN/m ²
Uniforme a monte del muro	$G1_{um} =$	0.00 kN/m ²
Nastriforme a monte del muro	$G1_{nm} =$	0.00 kN/m ²
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G1n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G1n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo permanente non strutturale

Uniforme a valle del muro	$G2_{uv} =$	0.00 kN/m ²
Uniforme a monte del muro	$G2_{um} =$	0.00 kN/m ²
Nastriforme a monte del muro	$G2_{nm} =$	0.00 kN/m ²
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{G2n} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{G2n} =$	0.000 m

Carichi distribuiti sul terreno di tipo variabile

Uniforme a valle del muro	$Q_{uv} =$	0.00 kN/m ²
Uniforme a monte del muro	$Q_{um} =$	20.00 kN/m ²
Nastriforme a monte del muro	$Q_{nm} =$	0.00 kN/m ²
Distanza nastriforme dal paramento interno	$d_{Qn} =$	0.000 m
Larghezza del nastro	$l_{Qn} =$	0.000 m

Normativa

Le verifiche geotecniche e di resistenza vengono eseguite secondo i dettami del D.M. 17 gennaio 2018: la verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'approccio DA1-C2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche (scorrimento, carico limite, ribaltamento e di resistenza) vengono effettuate secondo l'approccio DA2 (A1+M1+R3). Le verifiche per azioni sismiche vengono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici: l'analisi in condizioni sismiche viene eseguita utilizzando il metodo pseudo-statico.

Parametri per la determinazione dei carichi derivanti da sisma

Località:	TERRE DEL RENO - EX MIRABELLO (FE)	
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

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotta Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 13 di 20

Accelerazione orizzontale massima $a_g = 0.1478 \text{ g}$

Lo spettro di risposta utilizzato è quello definito dalla normativa

Accelerazione orizzontale massima $a_g = 0.1478 \text{ g}$

Categoria di sottosuolo $\text{suolo} = \text{D}$

Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_S = 1.80000$

Categoria topografica $C_T = \text{T1}$

Coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.00000$

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima

verifica a scorrimento, carico limite e di resistenza $\beta_{m1} = 0.38000$

verifica a ribaltamento $\beta_{m2} = 0.57000$

verifica di stabilità globale $\beta_s = 0.24000$

Coefficienti sismici per la verifica a scorrimento, carico limite e di resistenza

orizzontale $k_{h1} = 0.10110$

verticale $k_{v1} = 0.05055$

Coefficienti sismici per la verifica a ribaltamento

orizzontale $k_{h2} = 0.15164$

verticale $k_{v2} = 0.07582$

Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

orizzontale $k_h = 0.06385$

verticale $k_v = 0.03192$

Coefficienti parziali per le azioni

Tipo CMB	γ_{G1max}	γ_{G1min}	γ_{G2max}	γ_{G2min}	γ_Q/ψ_{2i}
DA2 (A1)	1.30	1.00	1.50	0.80	1.50
DA1-C2 (A2)	1.00	1.00	1.30	0.80	1.30
SIS	1.00	-	1.00	-	0.60

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tipo CMB	γ_ϕ	$\gamma_{c'}$	γ_γ
DA2 (M1)	1.00	1.00	1.00
DA1-C2 (M2)	1.25	1.25	1.00
SIS	1.00	1.00	1.00

Coefficienti per la determinazione delle masse sismiche

Carichi permanenti strutturali G1 $\gamma_{G1} = 1.00$

Carichi permanenti non strutturali G2 $\gamma_{G2} = 1.00$

Carichi variabili Q $\psi_{Ei} = 0.60$

Coefficienti parziali per le verifiche

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 14 di 20

Verifica	DA2 (R3)	DA1-C2 (R2)	SIS
Capacità portante fondazione	1.40	-	(R3) 1.20
Scorrimento	1.10	-	(R3) 1.00
Ribaltamento	1.15	-	(R3) 1.00
Stabilità globale	-	1.10	(R2) 1.20

Combinazioni per le verifiche locali e di resistenza

CMB	Tipo	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_Q	γ_E^1
1	DA2	1.30	1.50	1.50	0.00
2	DA2	1.30	1.50	0.00	0.00
3	DA2	1.00	1.50	1.50	0.00
4	DA2	1.00	1.50	0.00	0.00
5	SIS ²	1.00	1.00	0.60	+1.00
6	SIS ²	1.00	1.00	0.60	-1.00
7	SIS ²	1.00	1.00	0.60	+1.00
8	SIS ²	1.00	1.00	0.60	-1.00

¹ Il segno di γ_E indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

² Per le combinazioni 5 e 6 viene utilizzato il coefficiente β_{m1} mentre per le 7 e 8 il coefficiente β_{m2} .

Verifiche di stabilità dell'opera

Coefficienti di spinta del terreno di monte

Terreno in condizioni statiche (Coulomb)

Spinta attiva strato non immerso $K_{AS} = 0.3631$

Spinta attiva strato immerso $K_{AS} = 0.4059$

Terreno in condizioni dinamiche (Mononobe-Okabe)

Componente verticale dell'azione sismica agente verso l'alto

Spinta attiva strato non immerso (coefficiente β_{m1}) $K_{AD} = 0.4447$

Spinta attiva strato immerso (coefficiente β_{m1}) $K_{AD} = 0.5672$

Spinta attiva strato non immerso (coefficiente β_{m2}) $K_{AD} = 0.5868$

Spinta attiva strato immerso (coefficiente β_{m2}) $K_{AD} = 0.8427$

Componente verticale dell'azione sismica agente verso il basso

Spinta attiva strato non immerso (coefficiente β_{m1}) $K_{AD} = 0.4359$

Spinta attiva strato immerso (coefficiente β_{m1}) $K_{AD} = 0.5481$

Spinta attiva strato non immerso (coefficiente β_{m2}) $K_{AD} = 0.5588$

Spinta attiva strato immerso (coefficiente β_{m2}) $K_{AD} = 0.7576$

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

Altezza di calcolo del terreno non immerso $H_{td} = 0.500$ m

Altezza di calcolo del terreno immerso $H_{tw} = 3.000$ m

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 15 di 20

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	142.53	1.70	1.280	1.000	-	-	-	-	142.53	1.70	1.280	1.000
2	100.74	0.29	1.098	1.000	-	-	-	-	100.74	0.29	1.098	1.000
3	119.28	1.63	1.316	1.000	-	-	-	-	119.28	1.63	1.316	1.000
4	77.49	0.22	1.098	1.000	-	-	-	-	77.49	0.22	1.098	1.000
5	94.21	0.79	1.208	1.000	20.15	0.21	1.567	1.000	114.35	0.99	1.271	1.000
6	94.21	0.79	1.208	1.000	15.61	0.13	1.554	1.000	109.81	0.92	1.257	1.000
7	94.21	0.79	1.208	1.000	33.46	0.32	1.563	1.000	127.66	1.11	1.301	1.000
8	94.21	0.79	1.208	1.000	28.20	0.21	1.549	1.000	122.41	1.00	1.287	1.000

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)

Forze d'inerzia per metro di estensione del muro

Combinazioni 5 e 6 (β_1)

Componente orizzontale forza d'inerzia F_{I1,X} = 34.90 kN
Componente verticale forza d'inerzia F_{I1,Y} = ±17.45 kN

Combinazioni 7 e 8 (β_2)

Componente orizzontale forza d'inerzia F_{I2,X} = 52.35 kN
Componente verticale forza d'inerzia F_{I2,Y} = ±26.18 kN
Ordinata del punto di applicazione della forza Y_I = 1.885 m
Ascissa del punto di applicazione della forza X_I = 2.499 m

Verifica a ribaltamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario: se il momento ribaltante risulta positivo (quindi stabilizzante) viene posto pari a zero. Vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 4, la 7 e la 8.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 8)

Il centro di rotazione coincide con il piede di valle della soletta di fondazione.

Descrizione carico	Forza [kN]	Braccio [m]	Momento [kN•m]
Peso del muro (P _M)	86.25	1.746	150.56251
Peso del terreno a monte (P _{TM})	217.00	2.750	596.74997

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 16 di 20

Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P_{SM})	42.00	2.750	115.50001
Componente verticale forza d'inerzia ($F_{I,Y}$)	-26.18	2.499	-65.41965
Momento stabilizzante (M_{STAB})			797.39281

Componente orizzontale spinta totale terreno ($S_{T,X}$)	-122.41	1.287	-157.52945
Componente verticale spinta totale terreno ($S_{T,Y}$)	1.00	1.000	1.00049
Componente orizzontale forza d'inerzia ($F_{I,X}$)	-52.35	1.885	-98.67207
Momento ribaltante (M_{RIB})			-255.20103

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$$C_{RIB} = (M_{STAB} / R) / |M_{RIB}| = 3.12457$$

Verifica a schiacciamento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6.

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 1)

Descrizione carico (componente ortogonale al piano di fondazione)	Forza [kN]
Peso del muro (P_M)	112.12
Peso del terreno a monte (P_{TM})	282.10
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P_{SM})	105.00
Componente orizzontale spinta totale terreno ($S_{T,X}$)	0.00
Componente verticale spinta totale terreno ($S_{T,Y}$)	1.70
Carico totale ortogonale al piano di fondazione (N_{TOT})	500.92

Momento rispetto al piede di valle ($M_{TOT} = M_{STAB} + M_{RIB}$)	1079.46465 kN•m
---	-----------------

Distanza carico dal piede di valle ($d_N = M_{TOT} / N_{TOT}$)	2.155 m
--	---------

Eccentricità del carico ($e_N = L_{f1} / 2 - d_N $)	0.095 m
--	---------

(Il punto di applicazione del carico è **interno** al terzo medio)

Compressione all'estremo di valle (σ_v)	125.43 kN/m ²
--	--------------------------

Compressione all'estremo di monte (σ_m)	97.21 kN/m ²
--	-------------------------

Ampiezza della zona compressa (B_{comp})	4.500 m
--	---------

Compressione limite (σ_L)	553.93 kN/m ²
------------------------------------	--------------------------

Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 3.15458$$

Verifica a scorrimento (superata con successo)

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di carico dalla 1 alla 6. Il coefficiente di attrito per il terreno di fondazione è $f_t = \tan(\varphi_f) / \gamma_\varphi = 0.46631$.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 17 di 20

Dettaglio condizioni più gravose (Combinazione 6)

Descrizione carico	Forza ortogonale [kN]	Forza tangenziale [kN]
Peso del muro (P_M)	86.25	0.00
Peso del terreno a monte (P_{TM})	217.00	0.00
Peso dei sovraccarichi uniformi a monte (P_{SM})	42.00	0.00
Componente orizzontale forza d'inerzia ($F_{I,X}$)	0.00	34.90
Componente verticale forza d'inerzia ($F_{I,Y}$)	-17.45	0.00
Componente orizzontale spinta totale terreno ($S_{T,X}$)	0.00	109.81
Componente verticale spinta totale terreno ($S_{T,Y}$)	0.92	0.00
Carico totale ($\Sigma_{\perp}$, $\Sigma_{\parallel}$)	328.71	144.72

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$C_{sco} = (\Sigma_{\perp} \cdot f_t / R) / \Sigma_{\parallel} = 1.05919$$

Verifica di stabilità globale (superata con successo)

Parametri di ricerca della superficie di rottura circolare

Metodo di ricerca	Janbu
Numero di punti di generazione delle superfici	$N_{pg} = 20$
Numero delle superfici generate per punto	$N_{sp} = 100$
Lunghezza dei segmenti generati	$L_s = 1.000 \text{ m}$
Distanza della zona di generazione delle superfici	$D_{zg} = 3.000 \text{ m}$
Lunghezza della zona di generazione delle superfici	$L_{zg} = 10.000 \text{ m}$
Distanza della zona di arrivo della superfici	$D_{za} = 4.000 \text{ m}$
Lunghezza della zona di arrivo della superfici	$L_{za} = 21.000 \text{ m}$

Combinazioni

CMB	Tipo	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_Q	γ_{E^*}	γ_{ϕ}	$\gamma_{c'}$	γ_{γ}	R2
1	DA1-C2	1.00	1.30	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
2	DA1-C2	1.00	1.30	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
3	DA1-C2	1.00	0.80	1.30	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
4	DA1-C2	1.00	0.80	0.00	0.00	1.25	1.25	1.00	1.10
5	SIS	1.00	1.00	0.60	+1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
6	SIS	1.00	1.00	0.60	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

* Il segno di γ_E indica la direzione della componente verticale dell'azione sismica: positivo ↓ e negativo ↑.

Caratteristiche geometriche superficie di rottura (Combinazione 1)

Il sistema di riferimento coincide con il piede di valle della fondazione: l'asse delle ascisse è orizzontale diretto

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 18 di 20

verso monte e l'asse delle ordinate è verticale diretto verso l'alto.

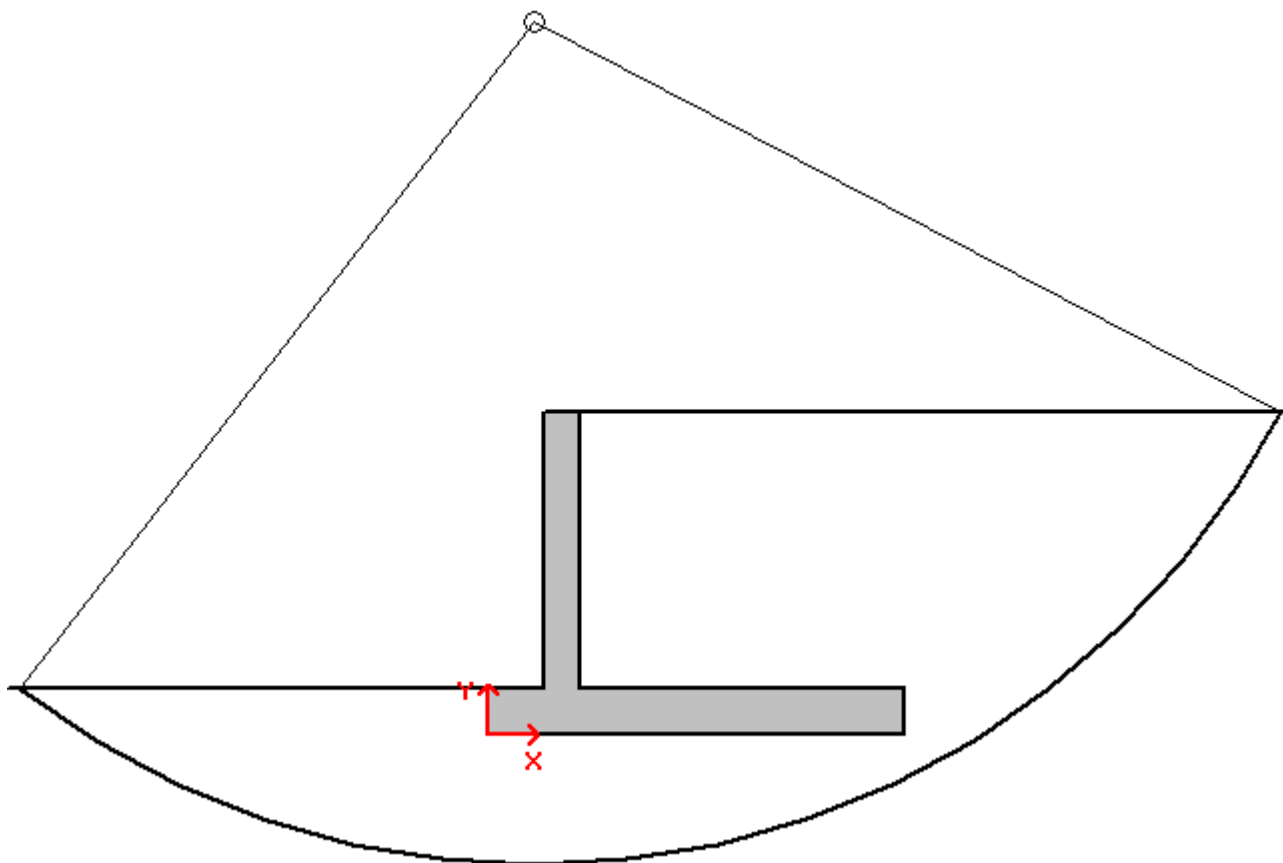
Ascissa centro $X_{cs} = 0.500 \text{ m}$

Ordinata centro $Y_{cs} = 7.719 \text{ m}$

Raggio $R_s = 9.124 \text{ m}$

Coefficiente di sicurezza alla stabilità globale

$C_{SG} = 1.70273$



Verifica delle armature

La verifica viene effettuata considerando lo stato limite ultimo, pertanto, si eseguono i seguenti controlli:

- Verifica N/M: si visualizza il valore del rapporto S_d/S_u ottenuto con incremento proporzionale delle sollecitazioni (S_d = sollecitazione di progetto derivante da N e M, S_u = sollecitazione ultima);
- Verifica (25): si visualizza il valore del rapporto N_d/N_u , dove N_u viene ottenuto con riduzione del 25% di f_{cd} (N_d = sollecitazione normale di progetto, N_u = sollecitazione normale ultima).

Entrambi i valori dei rapporti devono essere minori o uguali a 1 affinché la verifica sia superata.

Si riporta inoltre il valore del rapporto tra posizione dell'asse neutro e altezza utile della sezione (rapporto x/d) alla rottura della sezione (per sola flessione).

Le sollecitazioni riportate si riferiscono ad un tratto di muro di estensione 1 m.

Mensola in elevazione

Le quote delle sezioni sono riferite allo spiccatto di fondazione.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 19 di 20

Sezione 1 (verificata)

Caratteristiche

Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A_f [cm ²]	A_f' [cm ²]
2.000	100.0	40.0	(1 Ø 20 / 40 cm) 7.85	(1 Ø 16 / 20 cm) 10.05

Condizioni più gravose (Combinazione 5)

Sforzo normale (N) [kN]	Sforzo di taglio (T) [kN]	Momento flettente (M) [kN•m]
10.51	20.02	8.57146

Rapporto $x/d = 0.11013$

Verifica N/M **$S_d/S_u = 0.06371$**

Verifica (25) **$N_d/N_u = 0.00191$**

Sezione 2 (verificata)

Caratteristiche

Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A_f [cm ²]	A_f' [cm ²]
1.000	100.0	40.0	[(1 Ø 20 + 1 Ø 16) / 40 cm] 12.88	(1 Ø 16 / 20 cm) 10.05

Condizioni più gravose (Combinazione 5)

Sforzo normale (N) [kN]	Sforzo di taglio (T) [kN]	Momento flettente (M) [kN•m]
21.01	57.18	46.31907

Rapporto $x/d = 0.13509$

Verifica N/M **$S_d/S_u = 0.24996$**

Verifica (25) **$N_d/N_u = 0.00369$**

Sezione 3 (verificata)

Caratteristiche

Quota [m]	B [cm]	H [cm]	A_f [cm ²]	A_f' [cm ²]
0.000	100.0	40.0	(1 Ø 20 / 20 cm) 15.71	(1 Ø 16 / 20 cm) 10.05

Condizioni più gravose (Combinazione 5)

Sforzo normale (N) [kN]	Sforzo di taglio (T) [kN]	Momento flettente (M) [kN•m]
31.52	110.67	130.79300

Rapporto $x/d = 0.14811$

Verifica N/M **$S_d/S_u = 0.60546$**

Verifica (25) **$N_d/N_u = 0.00543$**

Sezione d'incastro mensola di fondazione a valle (verificata)

Caratteristiche

L_{mensola} [m]	B [cm]	H [cm]	A_f [cm ²]	A_f' [cm ²]
0.800	100.0	50.0	(1 Ø 20 / 20 cm) 15.71	(1 Ø 20 / 20 cm) 15.71

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	Lavori di implementazione primaria del sistema Irriguo Ciarle nei Comuni Terre del Reno e Vigarano Mainarda – Condotto Distributore Nord E.1.3 – MURI AD ALA INIZIO CONDOTTA INTERRATA	Rev. 00 del 09/11/21
		Pagina 20 di 20

Condizioni più gravose (Combinazione 1)

Compressione terreno estremo di valle $\sigma_v = 125.43 \text{ kN/m}^2$

Compressione terreno all'incastro $\sigma_i = 120.41 \text{ kN/m}^2$

Lunghezza zona compressa $L_c = 0.800 \text{ m}$

Descrizione carico	Forza [kN]	Braccio [m]	Momento [kN•m]
--------------------	------------	-------------	----------------

Forza di compressione terreno	-98.33	0.403	-39.60097
-------------------------------	--------	-------	-----------

Peso della mensola	9.75	0.500	4.87500
--------------------	------	-------	---------

Sforzo di taglio [kN]	Momento flettente [kN•m]
-----------------------	--------------------------

88.58	34.72597
-------	----------

Rapporto $x/d = 0.12260$

Verifica N/M **$S_d/S_u = 0.12970$**

Sezione d'incastro mensola di fondazione a monte (verificata)

Caratteristiche

L_{mensola} [m]	B [cm]	H [cm]	A_f [cm ²]	A_f' [cm ²]
3.700	100.0	50.0	(1 Ø 20 / 20 cm) 15.71	(1 Ø 20 / 20 cm) 15.71

Condizioni più gravose (Combinazione 5)

Compressione terreno estremo di monte $\sigma_m = 44.65 \text{ kN/m}^2$

Compressione terreno all'incastro $\sigma_i = 104.13 \text{ kN/m}^2$

Lunghezza zona compressa $L_c = 3.700 \text{ m}$

Descrizione carico	Forza [kN]	Braccio [m]	Momento [kN•m]
--------------------	------------	-------------	----------------

Forza di compressione terreno	-275.25	1.603	-441.35132
-------------------------------	---------	-------	------------

Peso della mensola	43.75	1.950	85.31250
--------------------	-------	-------	----------

Peso del terreno	217.00	1.950	423.14999
------------------	--------	-------	-----------

Peso dei sovraccarichi	42.00	1.950	81.90001
------------------------	-------	-------	----------

Inerzia verticale (terreno e cls)	15.30	1.950	29.84141
-----------------------------------	-------	-------	----------

Sforzo di taglio [kN]	Momento flettente [kN•m]
-----------------------	--------------------------

-42.81	-178.85258
--------	------------

Rapporto $x/d = 0.12260$

Verifica N/M **$S_d/S_u = 0.66798$**