



CONSORZIO di BONIFICA dell' EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - www.emiliacentrale.it - protocollo@pec.emiliacentrale.it
Tel. 0522-443211 Fax. 0522-443254 C.F. 91149320359

M - PRG.
18.01

Rev. 3
del
01.04.2019

TITOLO: Legge n°205/2017 art.1 comma 518. Primo Stralcio del Piano Nazionale degli interventi
nel settore idrico – sezione "invasi"

REALIZZAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE PER LAMINAZIONE DELLE PIENE E ACCUMULO IDRICO A SCOPO IRRIGUO CAVO BONDENO IN COMUNE DI NOVELLARA (RE) - CODICE 518/5

Importo: €. 10.000.000,00

Ente Finanziatore:
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Tipologia Progetto				Riferimento Legislativo	Comune
Fattibilità	Definitivo	Esecutivo	Contabilità	Legge n.205/2017 e Legge n. 145/2018	NOVELLARA (RE)
	X				

ALLEGATI:

Allegato n.	TITOLO:
2	RELAZIONI SPECIALISTICHE
Tavola:	Oggetto:
.5	RELAZIONE STRUTTURALE NUOVE OPERE, DEI MATERIALI E MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE
Scala:	

Il Progettista Generale:

Dott. Ing. Matteo Giovanardi



mgiovanardi@emiliacentrale.it

Collaboratori alla Progettazione:

Geom. Andrea Autunni	Dott. Ing. Elena Mocci
Geom. Stefano Bernardi	Dott. Agr. Aronne Ruffini
Geom. Riccardo Nicolini	Dott. Ing. Preti Valentina
P.I. Mauro Bigliardi	Dott. Agr. Baricca Matteo
P.I. Guido Ruini	Dott. Geol. Alessandro Fontanesi
P.I. Roberto Pinotti	

Il Responsabile del Procedimento:

Dott. Ing. Pietro Torri



ptorri@emiliacentrale.it

Area Progettazione: SLPP	Codice Progetto: 105/18/00	Codice CUP: G33H18000060001	Codice CIG:
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------

Redatto:	Verificato:	Nome File:	Note:

Data Progetto Originale: **16-12-2019**

Data Aggiornamento:

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

OHSAS 18001:2007



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	OPERE IN PROGETTO	4
***	6
4	TIPO DI ANALISI.....	6
5	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	7
6	CHIAVICA DI INVASO	8
6.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	8
6.2	MODELLO GEOTECNICO	9
6.3	CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA.....	10
6.3.1	SPINTA SUI PIEDRITTI	10
6.3.2	SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA	10
6.4	TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE	10
6.5	caratteristiche dei materiali	11
6.6	verifiche della struttura.....	12
6.7	Azioni di progetto, condizioni e combinazioni di carico.....	13
6.8	Analisi delle sollecitazioni e verifiche	15
6.8.1	Stati Limite Ultimi e SLV	15
6.8.2	Stati Limite di Esercizio e SLO	22
7	CHIAVICA DI INVASO – MURI LATERALI DISCENDENTI	27
7.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	27
7.2	MODELLO GEOTECNICO	28
7.3	CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA.....	29
7.3.1	SPINTA SUI PIEDRITTI	29
7.3.2	SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA	29
7.4	TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE	30
7.5	caratteristiche dei materiali	30
7.6	verifiche della struttura.....	32
7.7	Azioni di progetto, condizioni e combinazioni di carico.....	35
7.8	Analisi delle sollecitazioni e verifiche	37
7.8.1	Stati Limite Ultimi e SLV	37
7.8.2	Stati Limite di Esercizio e SLO	43
8	CHIAVICA DI SVASO	46
8.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	46
8.2	MODELLO GEOTECNICO	47
8.3	CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA	48

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

8.3.1	SPINTA SUI PIEDRITTI	48
8.3.2	SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA	48
8.4	TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE	48
8.5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	49
8.6	VERIFICHE DELLA STRUTTURA	50
8.7	AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	52
8.8	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE	54
8.8.1	Stati Limite Ultimi e SLV	54
8.8.2	Stati Limite di Esercizio e SLO	61
9	CHIAVICA DI SVASO – MURI LATERALI DISCENDENTI	66
9.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	66
9.2	MODELLO GEOTECNICO	67
9.3	CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA	68
9.3.1	SPINTA SUI PIEDRITTI	68
9.3.2	SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA	68
9.4	TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE	69
9.5	caratteristiche dei materiali	69
9.6	verifiche della struttura	70
9.7	Azioni di progetto, condizioni e combinazioni di carico	72
9.8	Analisi delle sollecitazioni e verifiche	74
9.8.1	Stati Limite Ultimi e SLV	74
9.8.2	Stati Limite di Esercizio e SLO	78
10	MANUFATTO DI SCARICO DELLA CASSA	80
10.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	80
10.2	MODELLO GEOTECNICO	81
10.3	CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA	82
10.3.1	SPINTA SUI PIEDRITTI	82
10.3.2	SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA	82
10.4	TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE	82
10.5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	83
10.6	VERIFICHE DELLA STRUTTURA	84
10.7	AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	87
10.8	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE	89
10.8.1	Stati Limite Ultimi e SLV	89
10.8.2	Stati Limite di Esercizio e SLO	94
11	VASCA ALLO SCARICO DELLA CASSA – MURO LATO OVEST	97
11.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	97
11.2	MODELLO GEOTECNICO	97
11.3	CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA	98
11.3.1	SPINTA SUI PIEDRITTI	98
11.4	verifiche geotecniche	100
11.4.1	– Verifica a ribaltamento	100

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.4.2 - Verifica a scorrimento	100
11.4.3 - Verifica al carico limite	102
11.4.4 - Verifica della stabilità globale	102
11.5 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	103
11.6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	104
11.7 VERIFICHE DELLA STRUTTURA.....	104
11.8 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	107
11.9 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE.....	109
11.9.1 - Verifiche geotecniche	109
11.9.2 STATI LIMITE ULTIMI E SLV	110
9.9.3 STATI LIMITE DI ESERCIZIO E SLO	115
12 VASCA ALLO SCARICO DELLA CASSA – MURO LATO SUD	119
12.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	119
12.2 MODELLO GEOTECNICI	120
12.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA	121
12.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI	121
12.4 verifiche geotecniche	122
12.4.1 – Verifica a ribaltamento	122
12.4.2 - Verifica a scorrimento	122
12.4.3 - Verifica al carico limite	123
12.4.4 - Verifica della stabilità globale	124
12.5 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	124
12.6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	125
12.7 VERIFICHE DELLA STRUTTURA.....	125
12.8 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	128
12.9 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE.....	130
12.9.1 - Verifiche geotecniche	130
12.9.2 STATI LIMITE ULTIMI E SLV	131
12.9.3 STATI LIMITE DI ESERCIZIO E SLO	135
13 RELAZIONE SUI MATERIALI E PIANO DI MANUTENZIONE STRUTTURALE DELL'OPERA	138
13.1 Premessa	138
13.2 MANUALE D'USO.....	138
13.2.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	138
13.2.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	139
13.3 manuale di manutenzione	140
13.3.1 MANUTENZIONE CIVILE.....	140
13.4 programma di manutenzione.....	140
13.4.1 SOTTOPROGRAMMA DELLE PRESTAZIONI	140
13.4.2 SOTTOPROGRAMMA DEI CONTROLLI	141
13.5 Sottoprogramma degli interventi di manutenzione.....	141

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

1 PREMESSA

La presente relazione si propone di verificare esecutivamente la sicurezza e le prestazioni dei nuovi manufatti in c.a. necessari al funzionamento della cassa di laminazione sul Cavo Bondeno in Comune di Novellara (RE).

Essendo il sito dove verranno realizzate le opere classificato come **zona sismica 3** ai sensi dell'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, la struttura sarà progettata ai sensi del capitolo 7 delle NTC.

La relazione contiene sia quella dei materiali che della manutenzione della parte strutturale così come richiesto dalla normativa di riferimento.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento per la progettazione strutturale delle opere sono le seguenti:

- Legge 1086 del 5/11/1971,
- D.M. 17/01/2018 - Norme Tecniche sulle Costruzioni,
- Circolare esplicativa n.7 del 21 Gennaio 2019.

3 OPERE IN PROGETTO

Le opere strutturali in progetto sono:

- la **chiavica di invaso**, posta nel vertice Sud-Ovest dell'area della cassa di espansione,
- la **chiavica di svaso**, posta nel vertice Nord-Ovest dell'area della cassa di espansione,
- il **manufatto di scarico** a valle della chiavica di svaso,
- la **vasca di scarico** posta a monte dell'attraversamento esistente sotto alla ferrovia Reggio Guastalla.

Tutti i manufatti in c.a. in opera si configurano come opere geotecniche ai sensi delle NTC 2018. Il tipo di fondazione è superficiale ed a platea. Le strutture, data la loro elevata rigidità, sono considerate di bassa duttilità.

Per ogni tipo di opera si sono state fatte scelte tecniche per assicurarne la durabilità, la robustezza e la duttilità. Nella loro progettazione si è tenuto in considerazione dei requisiti "gestionali" di ispezionabilità, manutenibilità, riparabilità, espandibilità/modularità ed eventuale rimovibilità.

L'analisi dell'opera, avvenuta mediante analisi lineare statica, ha analizzato, in assenza di sisma, gli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE) e gli stati limite sismici ovvero lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e quello Operativo (SLO)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)



Mappa illustrativa delle opere in progetto



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Per questi ultimi è stato necessario stabilire le caratteristiche in termini di vita nominale e classe d'uso della costruzione e le azioni dovute al terremoto mediante l'analisi sismica locale con un approccio di tipo pseudo statico.

I parametri di riferimento del manufatto in progetto per il calcolo agli SLU con e senza sisma sono:

Vita nominale V_N	Classe d'uso	Coefficiente d'uso C_u	Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R	Verifiche di sicurezza agli stati limite sismici	Tempo di ritorno dell'azione sismica - T_R
100	III°	1,50	150 anni	SLV SLO	1425 anni (SLV) 90 anni (SLO)

4 TIPO DI ANALISI

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

La struttura viene discretizzata in elementi tipo trave.

Per simulare il comportamento del terreno di fondazione e di rinfiacco vengono inserite delle molle alla Winkler non reagenti a trazione.

L'analisi che viene effettuata è un'analisi al passo per tener conto delle molle che devono essere eliminate (molle in trazione).

L'analisi fornisce i risultati in termini di spostamenti. Dagli spostamenti si risale alle sollecitazioni nodali ed alle pressioni sul terreno.

Il calcolo viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle pressioni in calotta (per gli scatolari ricoperti da terreno);
- Calcolo della spinta del terreno;
- Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali (fondazione, piedritti e traverso);
- Progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente o metodo semplificato secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

5 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	14.00
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	CONSORZIO DI BONIFICA DELL'EMILIA CENTRALE
Licenza	AIR01197E

Titolo	SCAT - Analisi Strutture Scatolari
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	CONSORZIO DI BONIFICA DELL'EMILIA CENTRALE
Licenza	AIR01197E

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

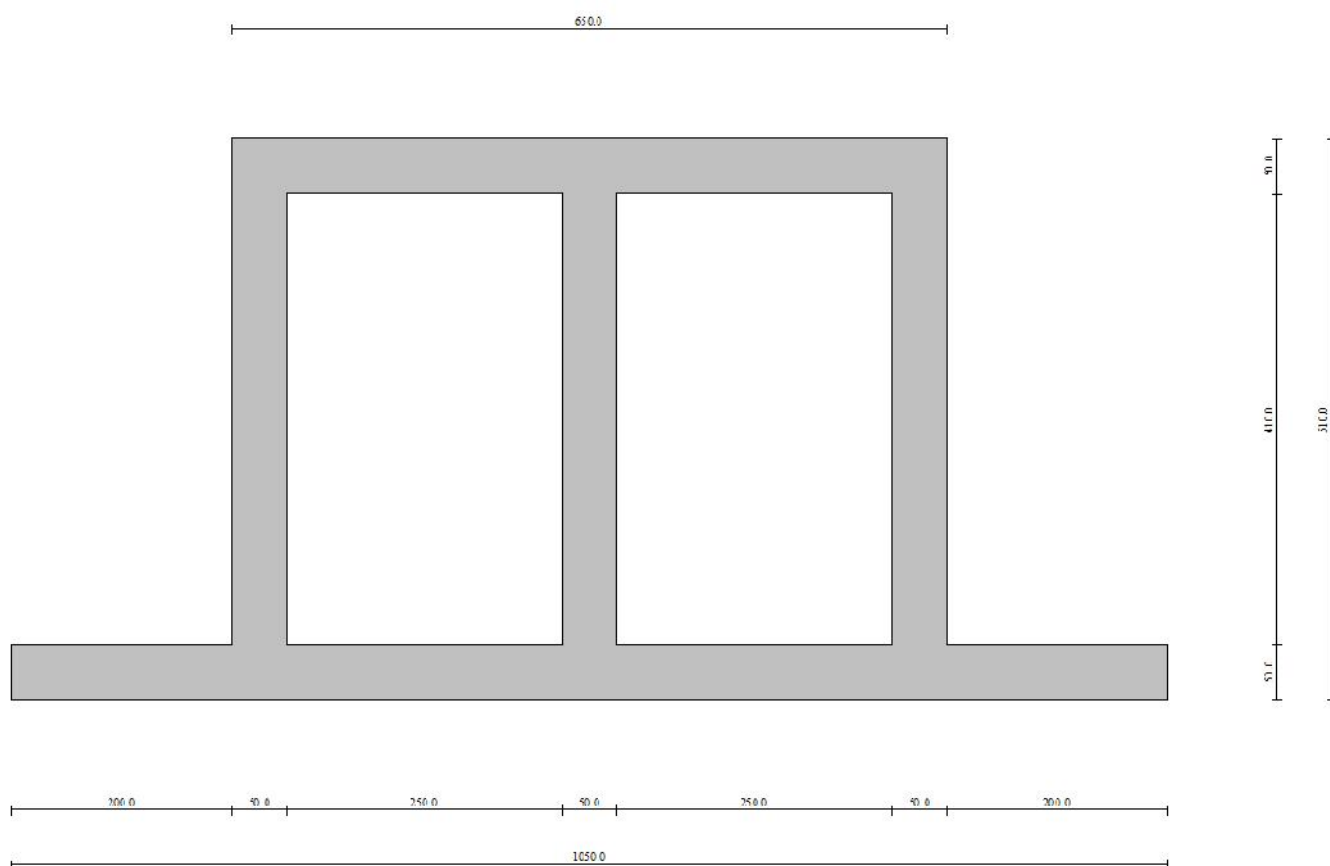
6 CHIAVICA DI INVASO

6.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto in c.a. è costituita da una soletta di fondazione avente larghezza pari a 10,50 m., lunghezza 10,00 m. e spessore 0,50 m., dalla quale si elevano tre pareti verticali di altezza interna di 4,10 m. e spessore 0,50 m. La soletta superiore ha larghezza 6,50 m., lunghezza 20,00 m. e spessore 0,50 m..

A monte e a valle della predetta opera sono presenti due muri laterali discendenti e soletta di fondazione aventi tutti spessore 0,50 m.

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.



Il manufatto viene realizzato nel vertice Sud-Ovest della nuova cassa di espansione.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

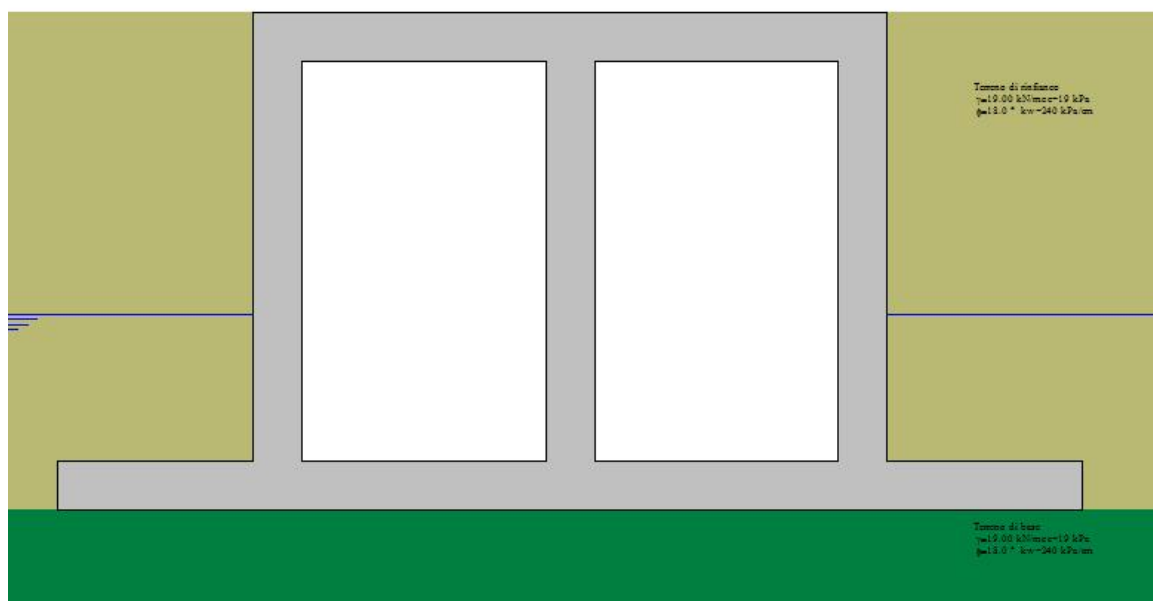
6.2 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione ed è il seguente con indicati i parametri caratteristici adottati:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito w_1 [°]	Angolo di attrito terreno struttura u_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]
Terreno di rinfiancio	19,00	19,65	18,00	12,00	19
Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	12,00	19

E' stata inserita la presenza della falda freatica ad una profondità di 3,10 m. dalla quota arginale a 21,50 mslm.

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

6.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

6.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

dove ϕ rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

dove p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sotto spinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

6.3.2 SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate, in modo tale che non può svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, nonché nel caso di muri verticali con terrapieno a superficie orizzontale, l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato (metodo di Wood) come:

$$\Delta P_d = \alpha \gamma H^2$$

$$\alpha = a_g / g * S_s * \beta_m * S_t$$

H è l'altezza sulla quale agisce la spinta. Il punto di applicazione va preso a metà altezza.

6.4 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfiando e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p . Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma:

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

6.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione traverso superiore XC4+XF4
- Classe di esposizione piedritti e soletta di fondazione XC4
- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Acciaio per c.a.: B450CCopriferro: il calcolo deriva dal § 4.1.6.1.3 e tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

6.6 VERIFICHE DELLA STRUTTURA

Stato limite Ultimo

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'**Approccio 2**.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelta il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\operatorname{ctg}(\theta) + \operatorname{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \operatorname{ctg} \theta^2)$$

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Stato Limite di Esercizio

Criteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	0.60 f_{ck}
Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	0.45 f_{ck}
Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	0.80 f_{yk}

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure $w_1=0,20$ $w_2=0,30$ $w_3=0,40$ **Caratteristiche dell'azione sismica negli SLV**

Accelerazione al suolo $a_g =$	2.04 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.62
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*Ss) = 33.63$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 16.82$

Caratteristiche dell'azione sismica negli SLO

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.78 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.80
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*Ss) = 14.31$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 7.15$
Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare

Il calcolo della spinta sismica è stato effettuato con il metodo di Wood.

6.7 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera,
- Spinta della falda sulle pareti laterali con livello posto a circa 3,00 m. sotto la quota arginale,

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

- Peso proprio dell'acqua sulla fondazione relativo ad acqua in transito nel Cavo Bondeno di altezza 2,00 m.,

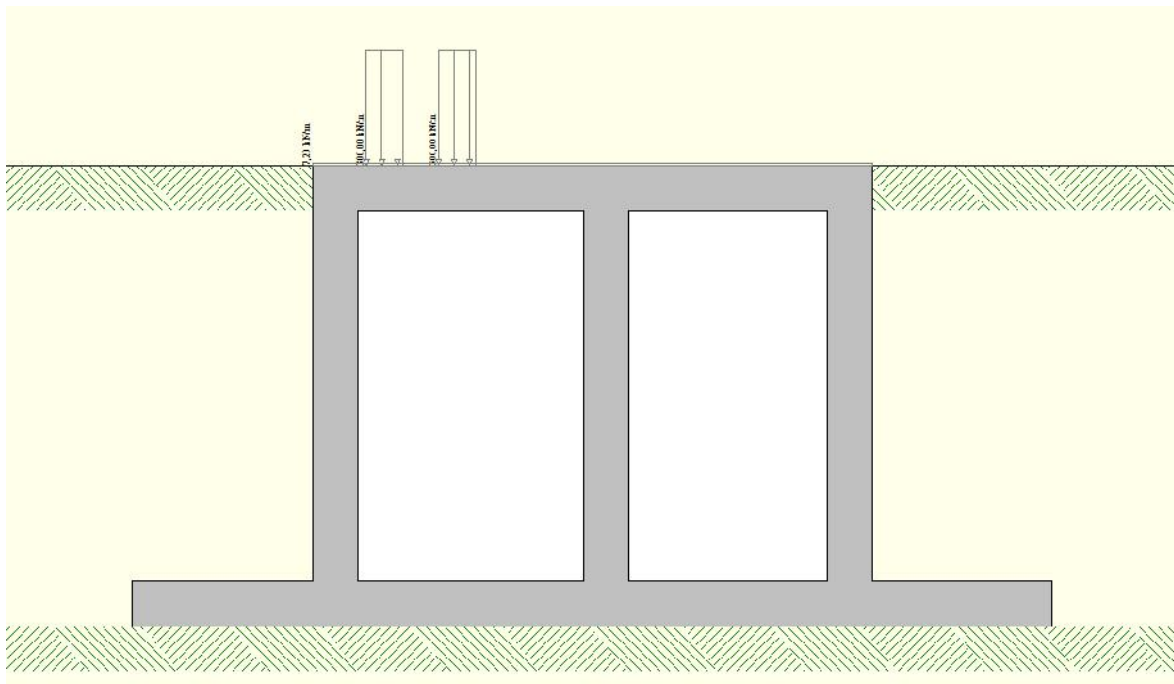
I carichi variabili (Q) sono:

- Passaggio dei mezzi di manutenzione per il quale si adotta il carico mobile del capitolo 5 delle NTC 2018 (schema n.1 e corsia n.1) diminuito del 20%.

I coefficienti di combinazione per carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 22 combinazioni di carico compressive per gli SLU e SLE sismici e non.

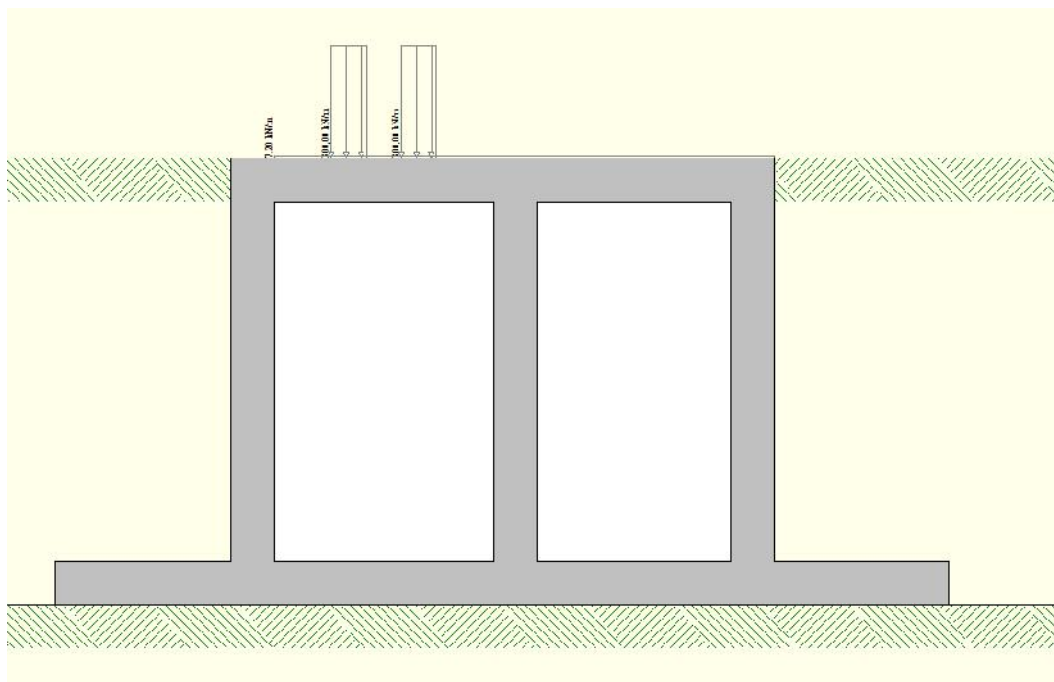


Posizione n.1 dello schema n.1 del carico da traffico

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Posizione n.2 dello schema n.1 del carico da traffico

6.8 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

Simbologia adottata ed unità di misura

N°	Indice sezione
X	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in cm
M	Momento flettente, espresso in kNm
V	Taglio, espresso in kN
N	Sforzo normale, espresso in kN
N_u	Sforzo normale ultimo, espressa in kN
M_u	Momento ultimo, espressa in kNm
A_{fi}	Area armatura inferiore, espresse in cmq
A_{fs}	Area armatura superiore, espresse in cmq
CS	Coeff. di sicurezza sezione
V_{Rd}	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi senza armature trasversali, espressa in kN
V_{Rcd}	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi con armature trasversali, espressa in kN
V_{Rsd}	Aliquota taglio assorbita armature trasversali, espressa in kN
A_{sw}	Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq

4.8.1 Stati Limite Ultimi e SLV

Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,00	0,00	0,00	2,89	6,84	-12,01	11,89

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

2,50	-82,73	-4,14	-160,23	-53,72	27,70	125,66
5,10	-52,09	8,98	39,69	139,42	27,70	114,95
7,60	-33,43	16,51	43,54	75,70	43,24	124,08
10,20	0,00	0,00	-5,51	-2,91	-12,16	11,75

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm e Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,00	12,57	12,57	44,60
2,50	12,57	12,57	1,81
5,10	12,57	12,57	2,16
7,60	12,57	12,57	6,62
10,20	12,57	12,57	44,41

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,00	197,31	0,00	0,00	0,00
2,50	207,96	0,00	0,00	0,00
5,10	207,96	0,00	0,00	0,00
7,60	207,81	0,00	0,00	0,00
10,20	197,30	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni traverso superiore

X [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
2,25	-77,82	13,70	1,99	243,36	-6,88	75,14
3,68	-11,22	120,18	-66,57	2,03	-6,88	69,26
5,13	-86,08	-14,10	-203,38	-15,92	-6,88	63,28
6,60	-14,51	0,10	-0,52	18,98	-5,96	71,00
7,95	-35,62	14,55	-34,77	2,43	-5,96	76,56

Verifica sezioni traverso superiore (Inviluppo)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Base sezione B = 100 cm e altezza sezione H = 50,00 cm

X	A_{fi}	A_{fs}	CS
2,25	15,71	17,72	3,76
3,68	15,71	15,71	2,35
5,13	15,71	17,72	3,76
6,60	15,71	15,71	22,90
7,95	15,71	17,72	6,49

X	V_{Rd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	A_{sw}
2,25	210,33	1261,75	1884,21	2,01
3,68	204,95	0,00	0,00	0,00
5,13	204,95	0,00	0,00	0,00
6,60	205,09	0,00	0,00	0,00
7,95	205,09	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-103,35	-8,11	29,65	124,67	57,08	316,67
2,55	-7,29	38,87	-25,43	9,57	30,19	280,02
4,85	-77,82	13,70	-63,61	6,88	1,99	243,36

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	2,88
2,55	15,71	15,71	8,07
4,85	17,72	15,71	5,56

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	216,07	0,00	0,00	0,00
2,55	211,12	0,00	0,00	0,00
4,85	206,17	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto centrale

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-41,86	6,66	-9,71	22,26	81,40	314,39
2,55	-5,01	13,07	-1,83	22,26	57,95	277,74
4,85	-8,21	61,16	-11,31	22,26	34,49	241,08

Verifica sezioni piedritto centrale (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm- Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	15,90

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

2,55	15,71	15,71	26,42
4,85	15,71	15,71	19,10

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	225,91	0,00	0,00	0,00
2,55	220,96	0,00	0,00	0,00
4,85	216,01	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-100,75	-14,50	-123,60	-41,38	53,38	108,08
2,55	-0,16	40,24	-9,06	17,34	25,76	71,42
4,85	-35,62	14,55	-6,11	64,78	-2,43	34,77

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	2,95
2,55	15,71	15,71	7,75
4,85	17,72	15,71	5,43

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	215,39	0,00	0,00	0,00
2,55	210,45	0,00	0,00	0,00
4,85	205,50	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

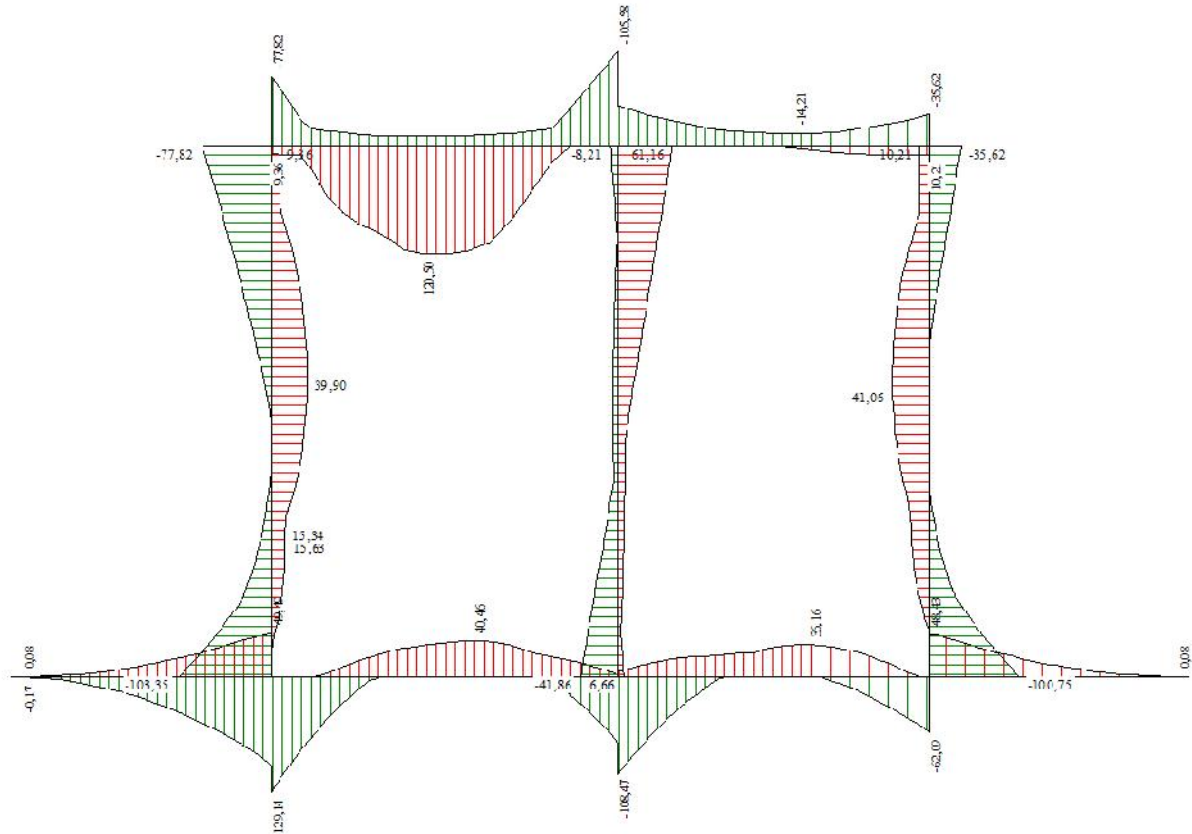
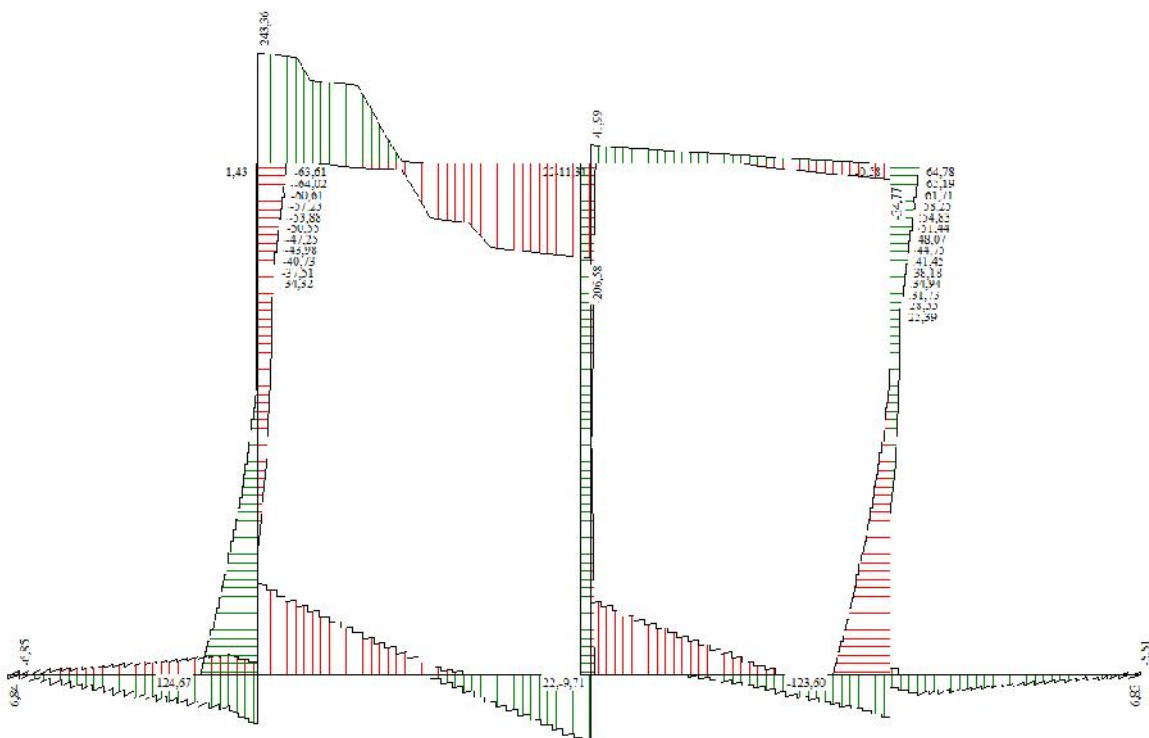


Diagramma di involuppo del Momento flettente negli SLU e SLV- [KN*m]



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Diagramma di involucro dello sforzo di Taglio negli SLU e SLV– [KN]

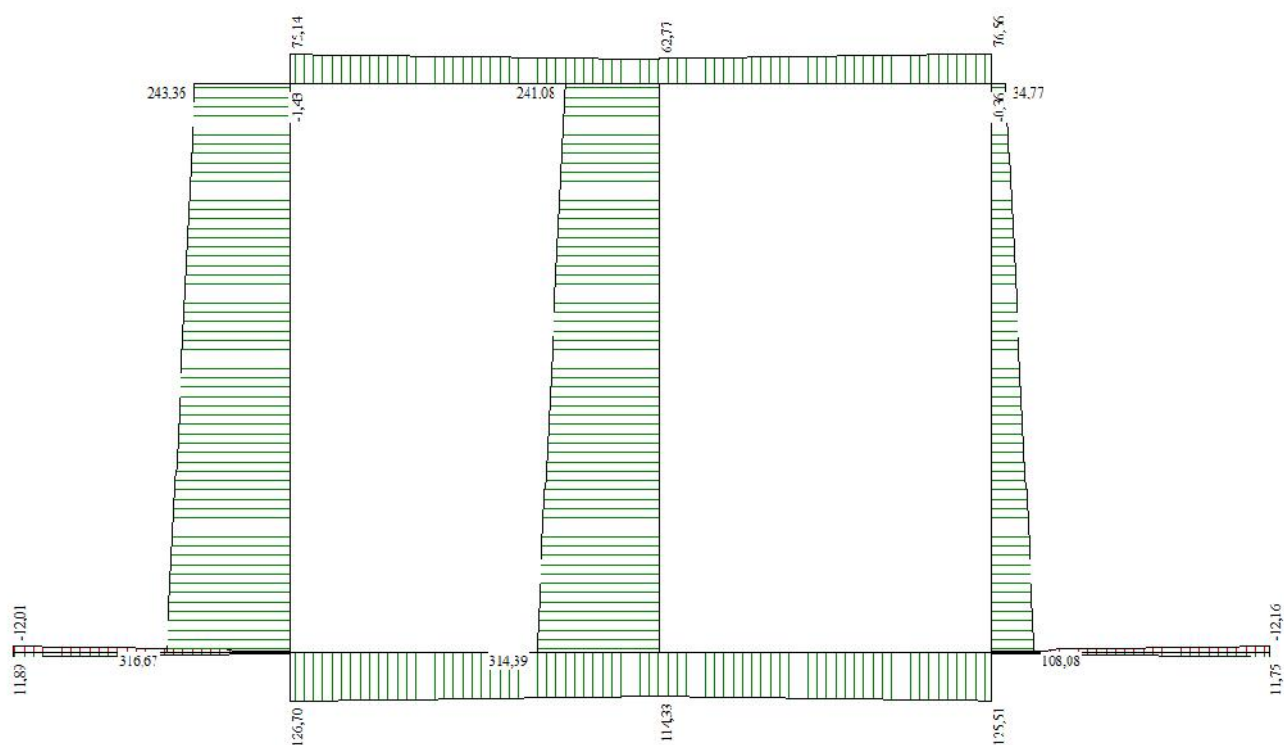


Diagramma di involucro dello sforzo normale negli SLU e SLV– [KN]

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

6.8.2 Stati Limite di Esercizio e SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	t _c	t _{fi}	t _{fs}
0,00	12,57	12,57	9	1549	1763
2,50	12,57	12,57	1716	68570	15262
5,10	12,57	12,57	1591	66752	13793
7,60	12,57	12,57	653	6893	16328
10,20	12,57	12,57	9	1602	1809

X	t _c	A _{sw}
0,00	-12	0,00
2,50	-270	0,00
5,10	285	0,00
7,60	153	0,00
10,20	12	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Verifica sezioni traverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	t _c	t _{fi}	t _{fs}
2,25	15,71	17,72	1717	23394	63013
3,68	15,71	15,71	3186	132517	27754
5,13	15,71	17,72	2021	18179	78888
6,60	15,71	15,71	293	2833	9662
7,95	15,71	17,72	661	24438	24214

X	t _c	A _{sw}
2,25	362	2,01
3,68	-116	0,00
5,13	-407	0,00
6,60	50	0,00
7,95	-56	0,00

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	t _c	t _{fi}	t _{fs}
0,25	15,71	15,71	2633	24346	96899
2,55	15,71	15,71	453	9768	5003
4,85	17,72	15,71	1800	19645	39216

Y	t _c	A _{sw}
0,25	209	0,00
2,55	-39	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

4,85 -62 0,00

Verifica sezioni piedritto centrale (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	t _c	t _{fi}	t _{fs}
0,25	15,71	15,71	983	13138	4396
2,55	15,71	15,71	595	3588	8334
4,85	15,71	15,71	1610	21262	19103

Y	t _c	A _{sw}
0,25	41	0,00
2,55	41	0,00
4,85	41	0,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	t _c	t _{fi}	t _{fs}
0,25	15,71	15,71	2520	23256	93137
2,55	15,71	15,71	512	13161	5512
4,85	17,72	15,71	690	20774	23722

Y	t _c	A _{sw}
0,25	-207	0,00
2,55	25	0,00
4,85	49	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,00	-0,1652	0,1669	0,2531	0,5988
2,50	-0,1654	0,1668	0,2263	0,5750
5,10	-0,1673	0,1653	0,2121	0,5036
7,60	-0,1688	0,1636	0,2275	0,4430
10,10	-0,1689	0,1632	0,2547	0,4820

Inviluppo spostamenti traverso

X [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
2,25	-0,1602	0,1657	0,2285	0,5896
3,68	-0,1608	0,1653	0,2176	0,5665
5,13	-0,1614	0,1648	0,2139	0,5135
6,60	-0,1618	0,1642	0,2182	0,4695
7,95	-0,1622	0,1636	0,2304	0,4446

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,1653	0,1670	0,2275	0,5819
2,55	-0,1451	0,1762	0,2282	0,5860
4,85	-0,1602	0,1657	0,2285	0,5896

Inviluppo spostamenti piedritto centrale

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,1674	0,1652	0,2124	0,5013
2,55	-0,1666	0,1689	0,2134	0,5054
4,85	-0,1614	0,1648	0,2141	0,5090

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,25	-0,1690	0,1633	0,2295	0,4435
2,55	-0,1767	0,1449	0,2301	0,4443
4,85	-0,1622	0,1636	0,2304	0,4446

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

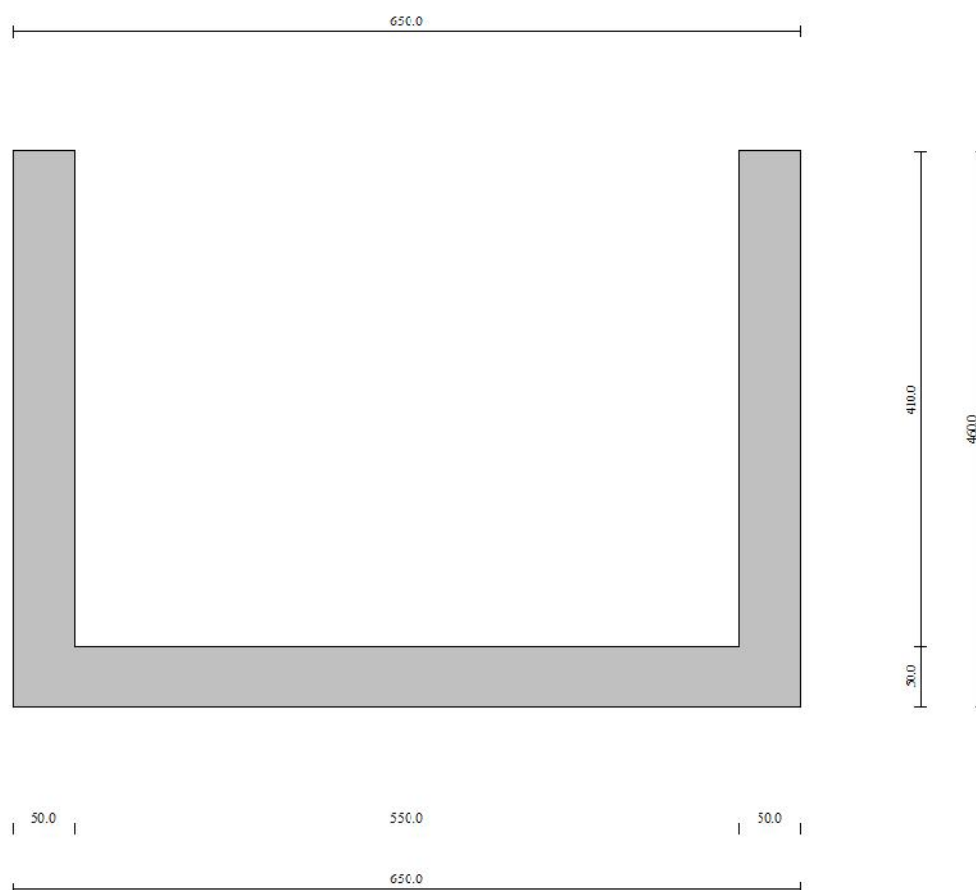
7 CHIAVICA DI INVASO – MURI LATERALI DISCENDENTI

7.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto in c.a. è relativa ai due muri laterali discendenti e soletta di fondazione che permettono il raccordo tra il manufatto descritto al punto precedente con le scarpate arginali in terra.

La fondazione ha larghezza pari a 6,50 m. mentre i due muri verticali hanno altezza variabile. Lo spessore di ogni predetto elemento è 0,50 m.

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.



I due manufatti di monte e valle della chiave di invaso si collocano nel vertice Sud-Est della nuova cassa.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

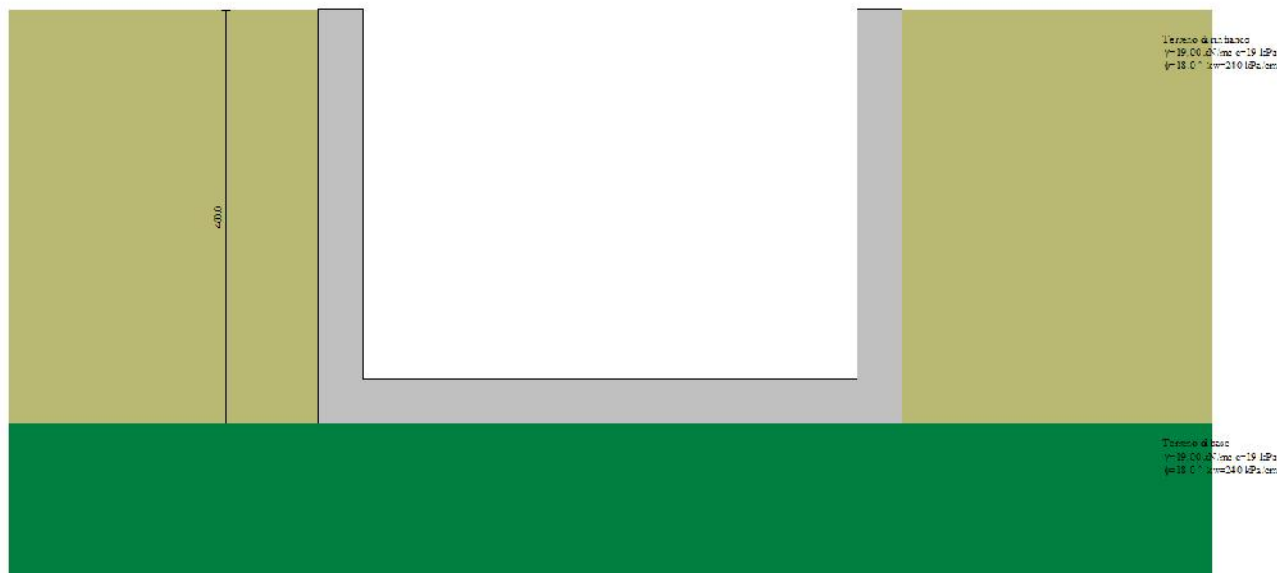
Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

7.2 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione ed è il seguente con indicati i parametri caratteristici adottati:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Angolo di attrito terreno struttura [°]	Coesione efficace [kPa]
Terreno di rinfilanco	19,00	19,65	18,00	12,00	19
Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	12,00	19

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

7.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

7.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

dove ϕ rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

dove p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sotto spinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

7.3.2 SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate, in modo tale che non può svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, nonché nel caso di muri verticali con terrapieno a superficie orizzontale, l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato (metodo di Wood) come:

$$\Delta P_d = \alpha \gamma H^2$$

$$\alpha = a_g / g * S_s * \beta_m * S_t$$

H è l'altezza sulla quale agisce la spinta. Il punto di applicazione va preso a metà altezza.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

7.4 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p .

Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

7.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione piedritti e soletta di fondazione XC4
- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

Acciaio per c.a.: B450C

Copriferro: il calcolo deriva dalla tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

7.6 VERIFICHE DELLA STRUTTURA

Stato limite Ultimo

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'**Approccio 2**.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelta il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\operatorname{ctg}(\theta) + \operatorname{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \operatorname{ctg} \theta^2)$$

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Stato Limite di EsercizioCriteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	$0.60 f_{ck}$
---	---------------

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	$0.45 f_{ck}$
--	---------------

Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	$0.80 f_{yk}$
---	---------------

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure $w_1=0,20$	$w_2=0,30$	$w_3=0,40$
------------------------------------	------------	------------

Caratteristiche dell'azione sismica negli SLV

Accelerazione al suolo $a_g =$	$2.04 [m/s^2]$
--------------------------------	----------------

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.62
---	------

Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
---	------

Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
--------------------------------------	------

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
--	------

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*Ss) = 33.63$
--	-------------------------------------

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 16.82$
--	--------------------------

Caratteristiche dell'azione sismica negli SLO

Accelerazione al suolo $a_g =$	$0.78 [m/s^2]$
--------------------------------	----------------

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.80
---	------

Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
---	------

Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
--------------------------------------	------

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
--	------

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*Ss) = 14.31$
--	-------------------------------------

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 7.15$
--	-------------------------

Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare
------------------------------------	--------------

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Il calcolo della spinta sismica è stato effettuato con il metodo di Wood.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

7.7 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera,
- Peso proprio dell'acqua in transito lungo il Cavo Bondeno per una altezza di 2,00 m.

I carichi variabili (Q) sono:

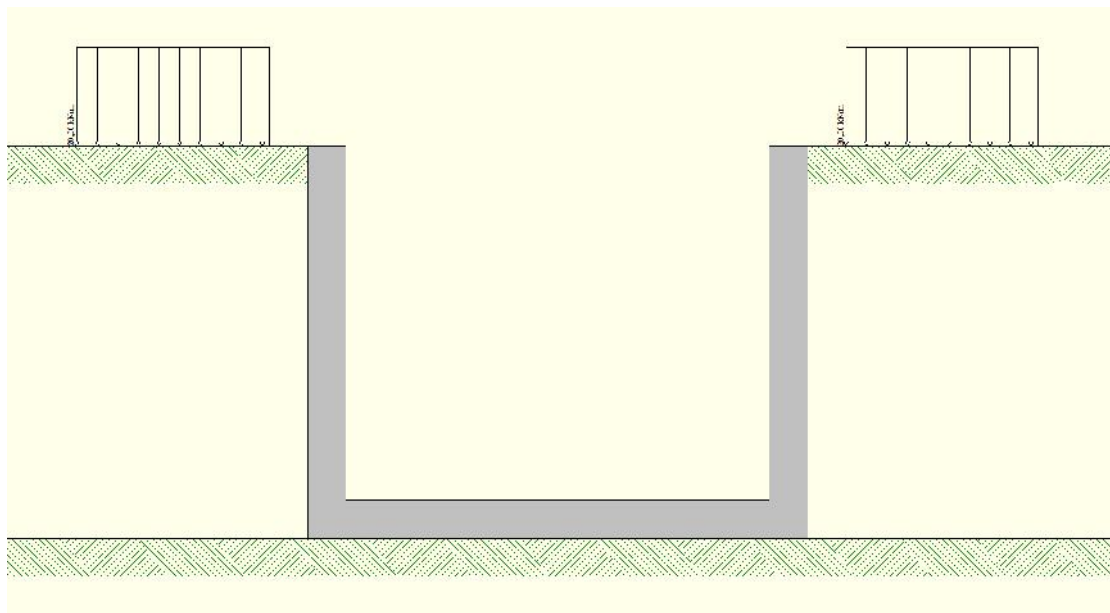
- Spinta derivante dalla presenza di azione variabile in sommità arginale dovuta al passaggio di mezzi per la manutenzione pari a 20 KPA.

I coefficienti di combinazione per il carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 13 combinazioni di carico complessive per gli SLU e SLE sismici e non.

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'**Approccio 2**.

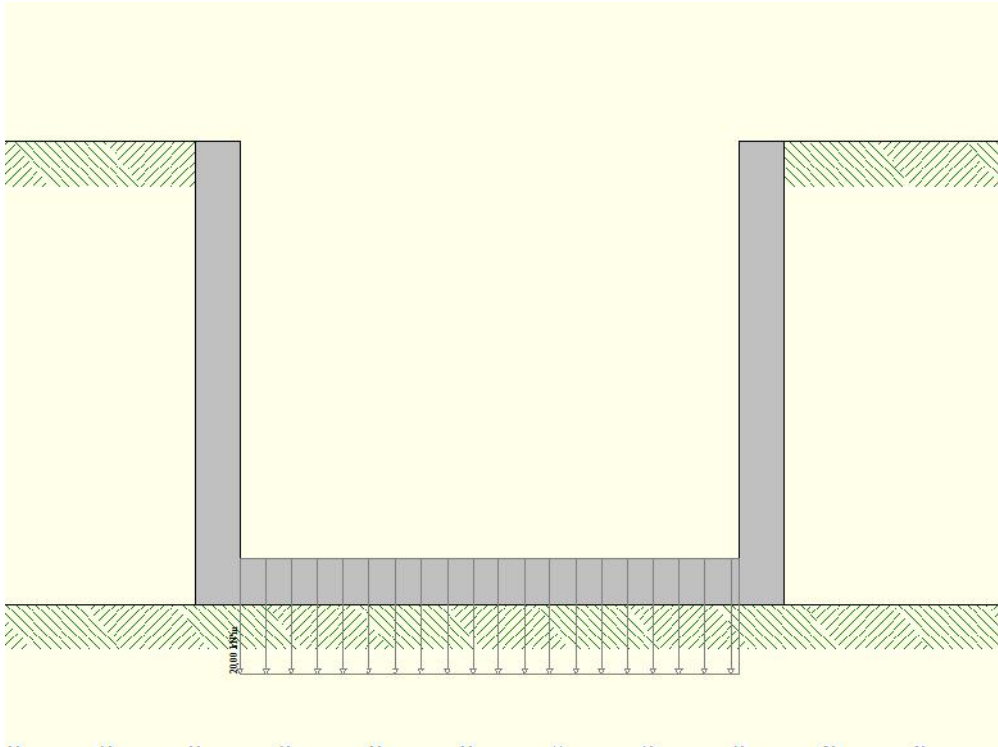


1. Posizione del carico derivante dal passaggio dei mezzi di manutenzione

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



2. Posizione del carico permanente dovuto alla presenza di acqua sulla fondazione

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

7.8 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE*Simbologia adottata ed unità di misura*

N°	Indice sezione
X	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in cm
M	Momento flettente, espresso in kNm
V	Taglio, espresso in kN
N	Sforzo normale, espresso in kN
N_u	Sforzo normale ultimo, espressa in kN
M_u	Momento ultimo, espressa in kNm
A_{fi}	Area armatura inferiore, espresse in cmq
A_{fs}	Area armatura superiore, espresse in cmq
CS	Coeff. di sicurezza sezione
V_{Rd}	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi senza armature trasversali, espressa in kN
V_{Rcd}	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi con armature trasversali, espressa in kN
V_{Rsd}	Aliquota taglio assorbita armature trasversali, espressa in kN
A_{sw}	Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq

7.8.1 Stati Limite Ultimi e SLV**Inviluppo sollecitazioni fondazione**

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-186,10	-34,42	-66,84	-42,51	31,91	113,62
1,78	-114,77	18,69	-48,50	-7,85	31,91	107,32
3,25	-63,02	38,16	-19,46	24,45	31,91	101,25
4,72	-114,77	18,69	12,98	53,37	31,91	107,32
6,25	-186,10	-34,42	42,51	66,84	31,91	113,62

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A_{fi}	A_{fs}	CS
0,25	12,57	12,57	1,26
1,78	12,57	12,57	1,87
3,25	12,57	12,57	4,03
4,72	12,57	12,57	1,85
6,25	12,57	12,57	1,26

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	204,81	0,00	0,00	0,00
1,78	204,81	0,00	0,00	0,00
3,25	204,81	0,00	0,00	0,00
4,72	204,81	0,00	0,00	0,00
6,25	204,81	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-186,10	-34,42	31,95	102,98	44,36	69,32
2,42	-42,49	1,30	1,23	39,07	22,18	34,66
4,60	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	1,48
2,42	15,71	15,71	4,88
4,60	15,71	15,71	1000,00

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	214,50	0,00	0,00	0,00
2,42	209,82	0,00	0,00	0,00
4,60	205,14	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-186,10	-34,42	-102,98	-31,95	44,36	69,32
2,42	-42,49	1,30	-39,07	-1,23	22,18	34,66

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

4,60 0,00 0,00 -0,36 0,00 0,00 0,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	1,48
2,42	15,71	15,71	4,88
4,60	15,71	15,71	1000,00

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	214,50	0,00	0,00	0,00
2,42	209,82	0,00	0,00	0,00
4,60	205,14	0,00	0,00	0,00

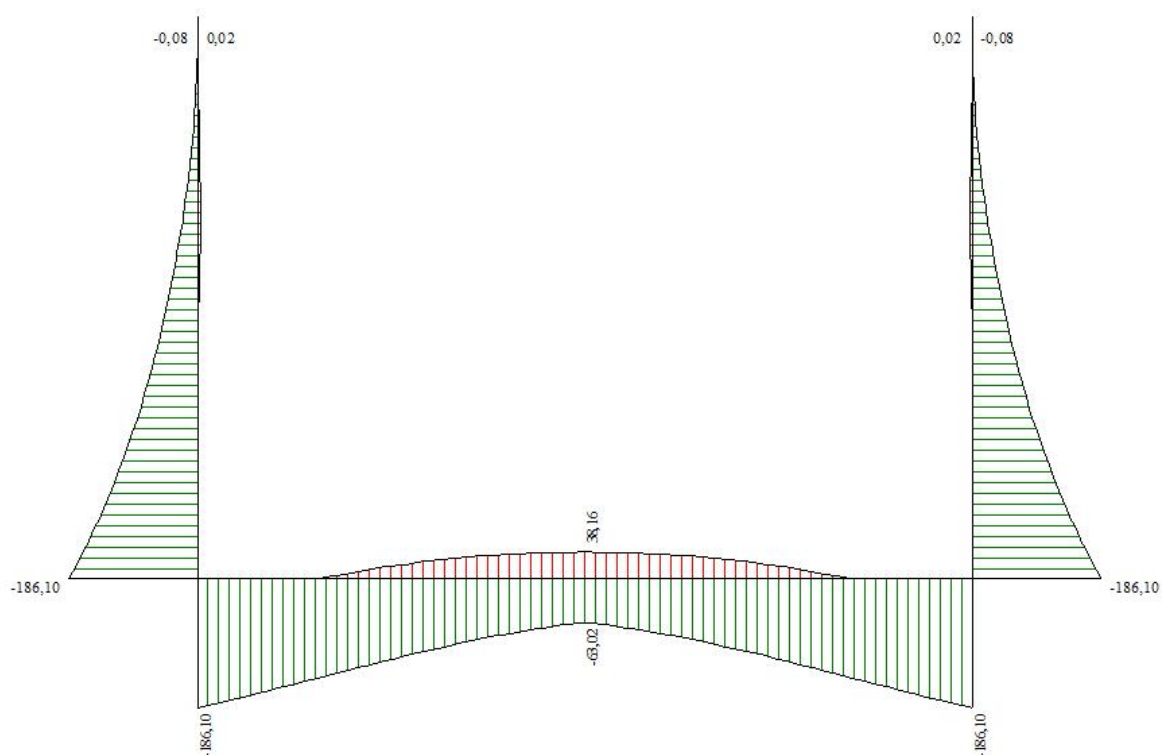


Diagramma di involuppo del Momento flettente negli SLU e SLV- [KN*m]

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

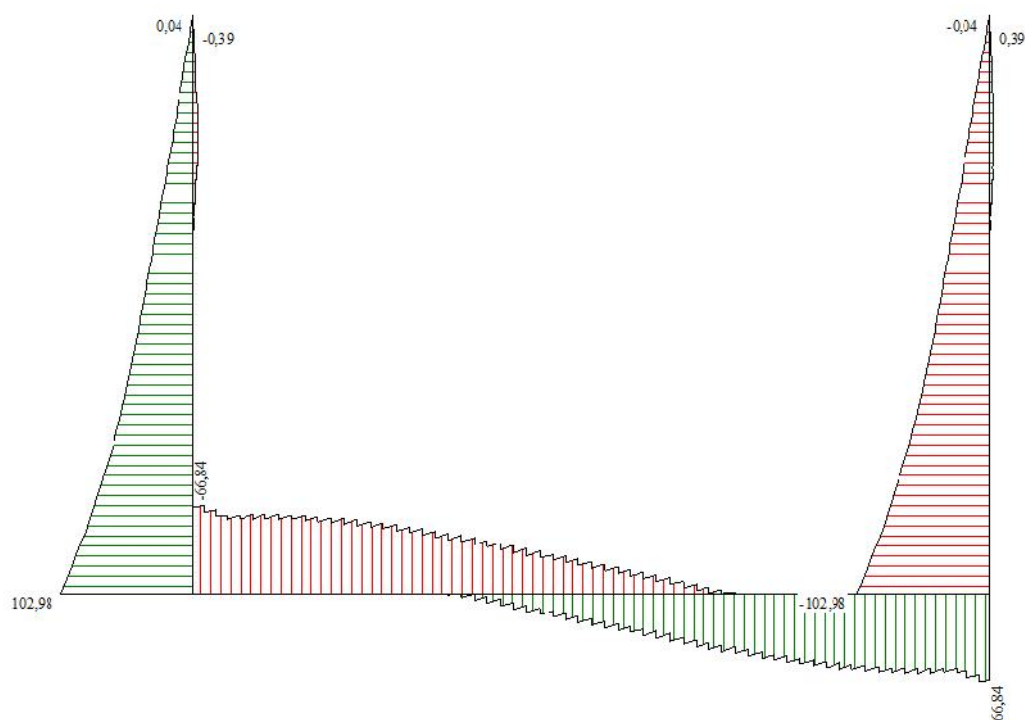


Diagramma di involuppo dello sforzo di Taglio negli SLU e SLV- [KN]

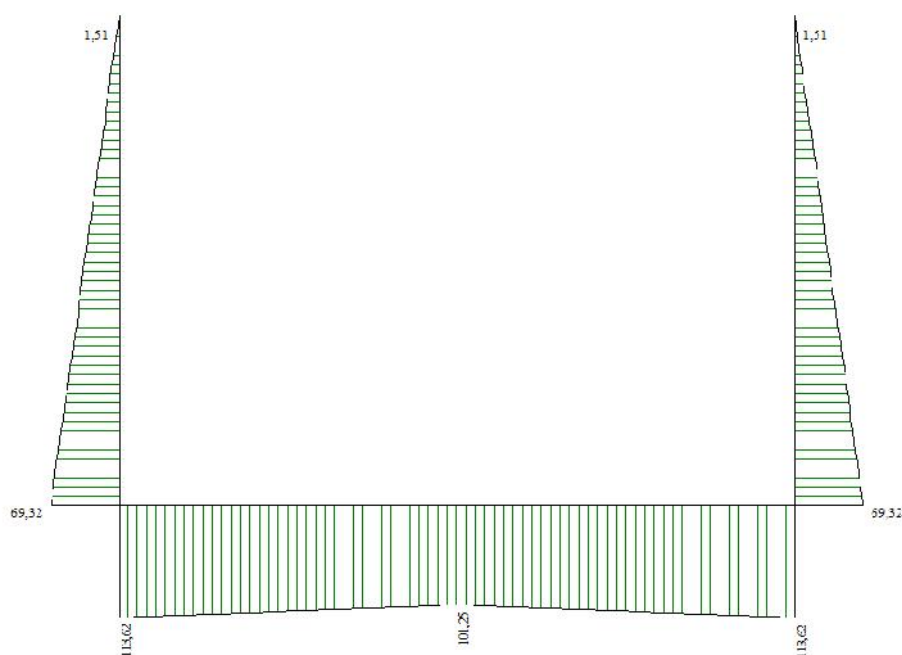


Diagramma di involuppo dello sforzo normale negli SLU e SLV- [KN]

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

7.8.2 Stati Limite di Esercizio e SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	12,57	12,57	2268	94789	19718
1,78	12,57	12,57	720	7056	22954
3,25	12,57	12,57	1312	11781	51413
4,72	12,57	12,57	720	7056	22954
6,25	12,57	12,57	2268	94789	19718

X	† _c	A _{sw}
0,25	-142	0,00
1,78	-60	0,00
3,25	13	0,00
4,72	73	0,00
6,25	142	0,00

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
---	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

0,25	15,71	15,71	2055	19413	73652
2,42	15,71	15,71	372	4063	8744
4,60	15,71	15,71	0	0	0

Y	\ddagger_c	A _{sw}
0,25	137	0,00
2,42	25	0,00
4,60	1	0,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	\ddagger_c	\ddagger_{fi}	\ddagger_{fs}
0,25	15,71	15,71	2055	19413	73652
2,42	15,71	15,71	372	4063	8744
4,60	15,71	15,71	0	0	0

Y	\ddagger_c	A _{sw}
0,25	-137	0,00
2,42	-25	0,00
4,60	-1	0,00

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u _{xmin} [cm]	u _{xmax} [cm]	u _{ymin} [cm]	u _{ymax} [cm]
0,25	-0,2029	0,2065	0,0371	0,2961
1,78	-0,2039	0,2057	0,1641	0,2820
3,25	-0,2048	0,2048	0,1899	0,2873
4,72	-0,2057	0,2039	0,1641	0,2820
6,17	-0,2065	0,2029	0,0371	0,2961

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,2029	0,2065	0,0371	0,2961
2,42	-0,0911	0,5524	0,0375	0,2968
4,60	-0,0075	0,9670	0,0377	0,2970

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,2065	0,2029	0,0371	0,2961
2,42	-0,5524	0,0911	0,0375	0,2968
4,60	-0,9670	0,0075	0,0377	0,2970

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

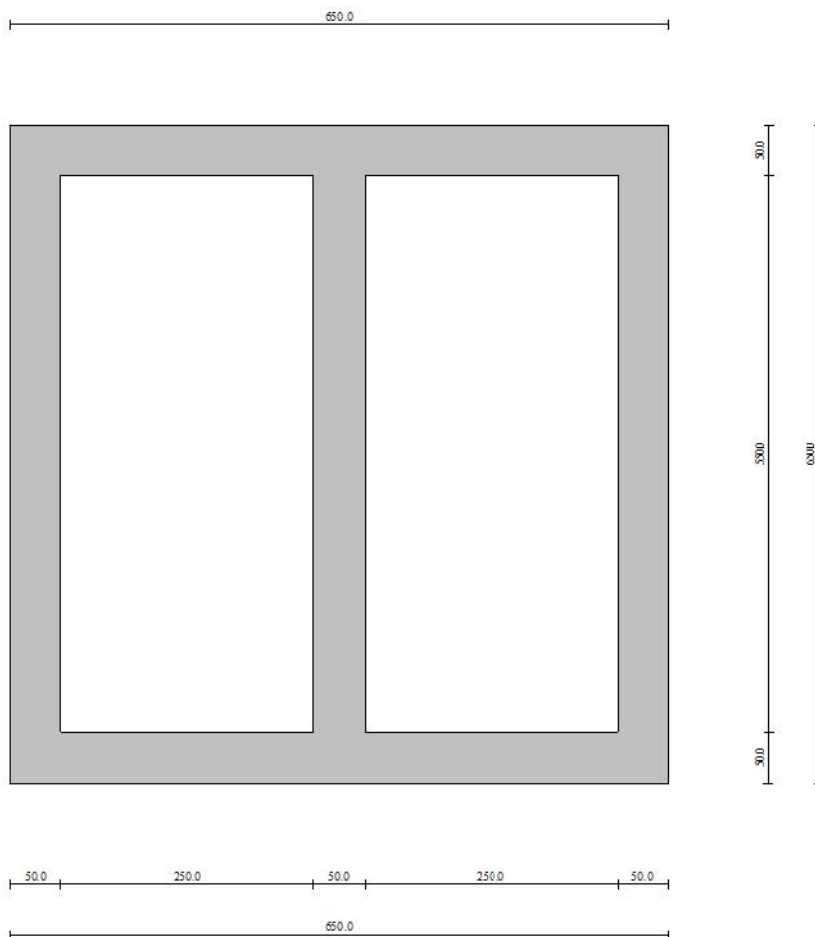
8 CHIAVICA DI SVASO

8.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto in c.a. è costituita da una soletta di fondazione avente larghezza pari a 6,50 m., lunghezza 4,00 m. e spessore 0,50 m., dalla quale si elevano tre pareti verticali di altezza interna di 5,50 m. e spessore 0,50 m. La soletta superiore ha larghezza 6,50 m., lunghezza 4,00 m. e spessore 0,50 m..

A monte sono presenti due muri laterali discendenti e soletta di fondazione aventi tutti spessore 0,50 m.; a valle della predetta opera ha origine uno scatolare in c.a. di cui si dirà in seguito.

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.



Il manufatto si colloca nel vertice Nord-Ovest della nuova cassa di espansione.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

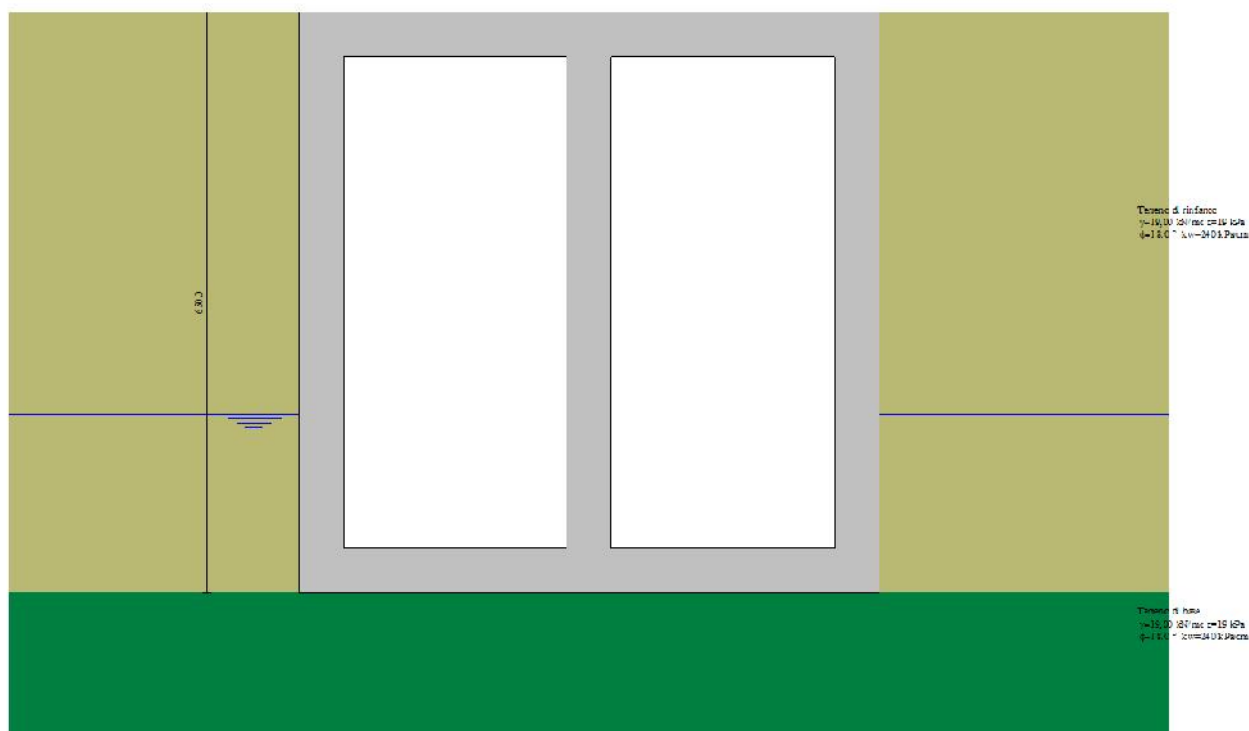
8.2 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione ed è il seguente con indicati i parametri caratteristici adottati:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Angolo di attrito terreno struttura [°]	Coesione efficace [kPa]
Terreno di rinfiango	19,00	19,65	18,00	12,00	19
Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	12,00	19

E' stata inserita la presenza della falda freatica ad una profondità di 4,50 m. dalla quota arginale a 21,50 mslm.

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

8.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

8.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

dove ϕ rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfiando.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

dove p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sotto spinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

8.3.2 SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate, in modo tale che non può svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, nonché nel caso di muri verticali con terrapieno a superficie orizzontale, l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato (metodo di Wood) come:

$$\Delta P_d = \alpha \gamma H^2$$

$$\alpha = a_g / g * S_s * \beta_m * S_t$$

H è l'altezza sulla quale agisce la spinta. Il punto di applicazione va preso a metà altezza.

8.4 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfilanco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p .

Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

8.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione traverso superiore XC4+XF4
- Classe di esposizione piedritti e soletta di fondazione XC4

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

Acciaio per c.a.: B450C

Copriferro: il calcolo deriva dal § 4.1.6.1.3 e dalla tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

8.6 VERIFICHE DELLA STRUTTURA

Stato limite Ultimo

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'Approccio 2.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelto il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\operatorname{ctg}(\theta) + \operatorname{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \operatorname{ctg} \theta^2)$$

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Stato Limite di Esercizio

Criteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	0.60 f_{ck}
Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	0.45 f_{ck}
Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	0.80 f_{yk}

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure $w_1=0,20$ $w_2=0,30$ $w_3=0,40$ **Caratteristiche dell'azione sismica negli SLV**

Accelerazione al suolo $a_g =$	2.04 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.62
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*Ss) = 33.63$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 16.82$

Caratteristiche dell'azione sismica negli SLO

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.78 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.80
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*Ss) = 14.31$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 7.15$
Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare

Il calcolo della spinta sismica è stato effettuato con il metodo di Wood.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

8.7 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera,
- Spinta della falda sulle pareti laterali con livello posto a circa 4,50 m. sotto la quota arginale,
- Peso proprio dell'acqua sulla fondazione relativo ad acqua in transito nel Cavo Bondeno di altezza 2,00 m.,

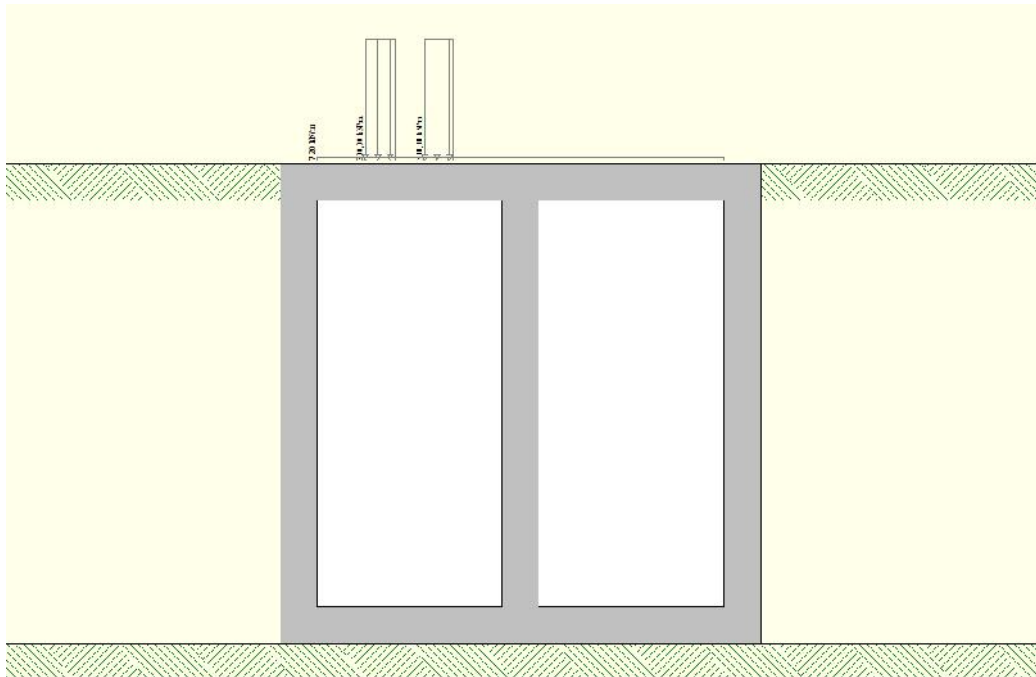
I carichi variabili (Q) sono:

- Passaggio dei mezzi di manutenzione per il quale si adotta il carico mobile del capitolo 5 delle NTC 2018 (schema n.1 e corsia n.1) diminuito del 20%.

I coefficienti di combinazione per carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 30 combinazioni di carico complessive per gli SLU e SLE sismici e non.

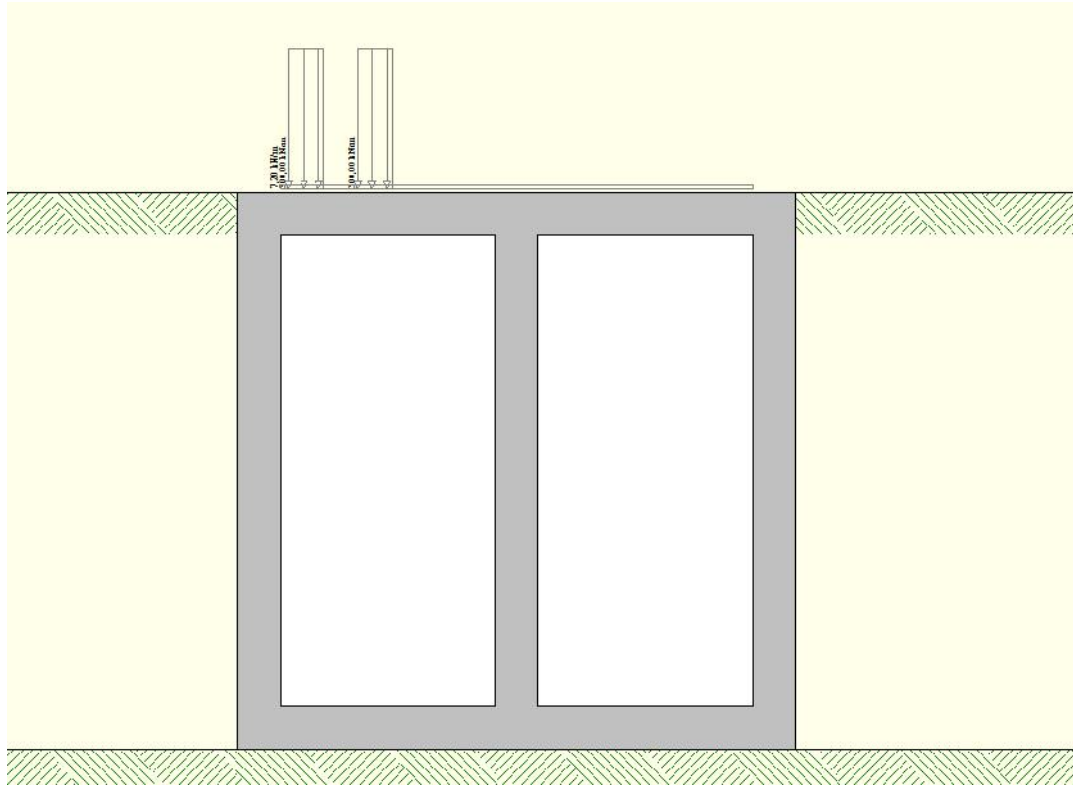


Posizione n.1 dello schema n.1 del carico da traffico

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Posizione n.2 dello schema n.1 del carico da traffico

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

8.8 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE*Simbologia adottata ed unità di misura**N°* Indice sezione*X* Ascissa/Ordinata sezione, espresso in cm*M* Momento flettente, espresso in kNm*V* Taglio, espresso in kN*N* Sforzo normale, espresso in kN*N_u* Sforzo normale ultimo, espressa in kN*M_u* Momento ultimo, espressa in kNm*A_{fi}* Area armatura inferiore, espresse in cmq*A_{fs}* Area armatura superiore, espresse in cmq*CS* Coeff. di sicurezza sezione*V_{Rd}* Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi senza armature trasversali, espressa in kN*V_{Rcd}* Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi con armature trasversali, espressa in kN*V_{Rsd}* Aliquota taglio assorbita armature trasversali, espressa in kN*A_{sw}* Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq**8.8.1 Stati Limite Ultimi e SLV****Inviluppo sollecitazioni fondazione**

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-189,18	-62,68	-306,34	-90,31	88,69	198,35
1,78	-9,19	76,02	-49,22	-8,22	88,69	192,05
3,25	-102,56	31,98	-166,99	0,50	88,69	185,98
4,72	-9,19	28,61	-0,40	56,52	88,69	192,05
6,25	-140,01	-50,18	90,31	138,29	88,69	198,35

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A_{fi}	A_{fs}	CS
0,25	16,59	12,57	1,74
1,78	12,57	12,57	4,01
3,25	12,57	12,57	1,82
4,72	12,57	12,57	22,68
6,25	12,57	12,57	1,97

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

X	V_{Rd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	A_{sw}
0,25	216,57	1892,62	1904,58	2,01
1,78	215,51	0,00	0,00	0,00
3,25	215,51	0,00	0,00	0,00
4,72	215,51	0,00	0,00	0,00
6,25	215,51	0,00	0,00	0,00

* * *

Inviluppo sollecitazioni trasverso

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-97,46	-10,20	19,31	219,41	13,53	138,07
1,80	-23,83	114,48	-141,93	39,60	13,53	131,68
3,25	-49,34	29,68	-24,82	30,58	13,53	125,70
4,85	-33,22	-1,35	-41,09	-1,69	13,53	132,29
6,25	-97,46	-16,38	-56,00	-19,31	13,53	138,07

Verifica sezioni trasverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A_{fi}	A_{fs}	CS
0,25	15,71	17,72	2,86
1,80	15,71	15,71	2,48
3,25	15,71	17,72	2,77
4,85	15,71	15,71	9,20
6,25	15,71	15,71	3,14

X	V_{Rd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	A_{sw}
0,25	214,80	1261,75	1890,69	2,01
1,80	209,22	0,00	0,00	0,00
3,25	214,22	630,87	1889,84	2,01
4,85	209,22	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

6,25	209,22	0,00	0,00	0,00
------	--------	------	------	------

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-189,18	-62,68	88,80	184,64	92,86	315,03
3,25	12,20	89,96	-13,51	10,54	56,09	267,22
6,25	-97,46	-10,20	-122,03	-13,53	19,31	219,41

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	17,72	15,71	2,08
3,25	15,71	15,71	3,57
6,25	17,72	15,71	2,04

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	222,52	0,00	0,00	0,00
3,25	216,07	0,00	0,00	0,00
6,25	209,61	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto centrale

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-69,79	14,09	-13,61	27,22	12,85	345,88
3,25	-8,24	13,45	-1,24	27,22	-17,74	298,07
6,25	-6,90	93,50	-11,23	27,22	-48,33	250,26

Verifica sezioni piedritto centrale (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	8,94

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

3,25	15,71	15,71	21,13
------	-------	-------	-------

6,25	17,72	15,71	9,43
------	-------	-------	------

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	222,01	0,00	0,00	0,00
3,25	215,56	0,00	0,00	0,00
6,25	209,11	0,00	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,25	-140,01	-50,18	-184,64	-88,80	92,86	142,57
3,25	22,87	89,96	6,58	27,57	56,09	98,96
6,25	-97,46	-16,38	13,53	122,03	19,31	56,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	2,35
3,25	15,71	15,71	3,57
6,25	15,71	15,71	2,04

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	222,52	0,00	0,00	0,00
3,25	216,07	0,00	0,00	0,00
6,25	209,61	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

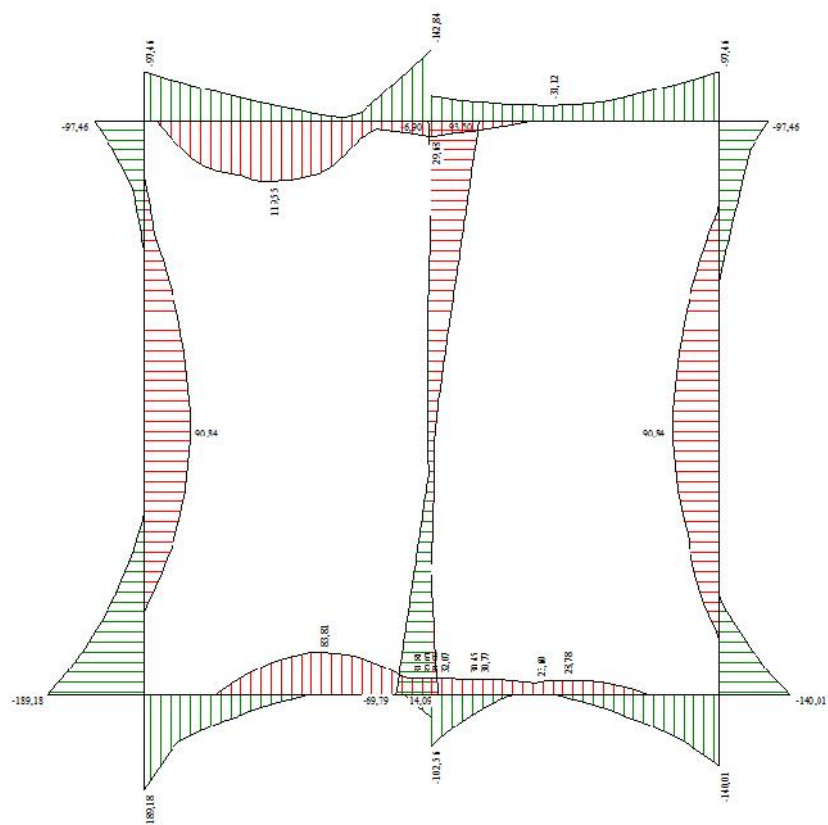


Diagramma di involuppo del Momento flettente negli SLU e SLV- [KN*m]

Codice intervento 518/5

60

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

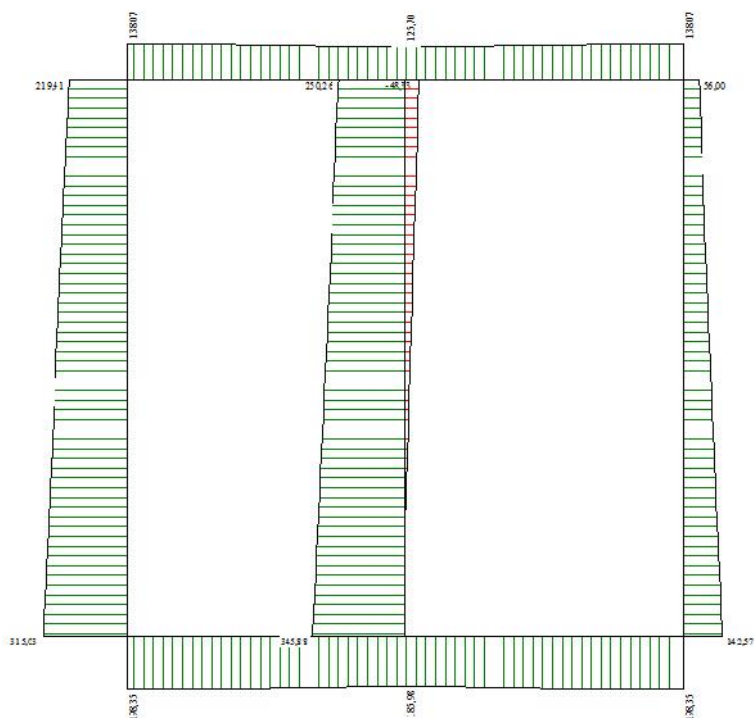


Diagramma di involuppo dello sforzo normale negli SLU e SLV– [KN]

8.8.2 Stati Limite di Esercizio e SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	16,59	12,57	4691	164572	44255
1,78	12,57	12,57	2420	23377	80056

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

3,25	12,57	12,57	2580	86202	24828
4,72	12,57	12,57	959	11498	11654
6,25	12,57	12,57	3590	128863	34006

X	\ddagger_c	A _{sw}
0,25	-586	2,01
1,78	-66	0,00
3,25	-306	0,00
4,72	80	0,00
6,25	282	0,00

Verifica sezioni traverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	\ddagger_c	\ddagger_{fi}	\ddagger_{fs}
0,25	15,71	17,72	1552	15529	46453
1,80	15,71	15,71	2447	93062	22285
3,25	15,71	17,72	3835	35069	144566
4,85	15,71	15,71	781	7471	26427
6,25	15,71	15,71	1615	15756	60129

X	\ddagger_c	A _{sw}
0,25	411	2,01
1,80	-291	0,00
3,25	-365	2,01
4,85	-41	0,00
6,25	-83	0,00

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	17,72	15,71	4671	47277	135036
3,25	15,71	15,71	1651	51357	16317
6,25	17,72	15,71	1573	14329	59776

Y	† _c	A _{sw}
0,25	325	0,00
3,25	27	0,00
6,25	-137	0,00

Verifica sezioni piedritto centrale (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	15,71	15,71	1842	22300	20291
3,25	15,71	15,71	553	3524	7759
6,25	17,72	15,71	2456	54434	26695

Y	† _c	A _{sw}
0,25	53	0,00
3,25	53	0,00
6,25	53	0,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	15,71	15,71	3243	31403	106544
3,25	15,71	15,71	1651	51357	16317
6,25	15,71	15,71	1596	14630	59815

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Y	t_c	A_{sw}
0,25	-325	0,00
3,25	51	0,00
6,25	137	0,00

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,25	-0,1957	0,2021	0,1950	0,8690
1,78	-0,1974	0,2006	0,2024	0,7139
3,25	-0,1991	0,1991	0,2019	0,6026
4,72	-0,2006	0,1974	0,2024	0,5145
6,17	-0,2021	0,1957	0,1950	0,4510

Inviluppo spostamenti traverso

X [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,25	-0,2241	0,2284	0,1980	0,8787
1,80	-0,2253	0,2274	0,1942	0,7555
3,25	-0,2265	0,2265	0,2013	0,6134
4,85	-0,2275	0,2252	0,1934	0,5056
6,25	-0,2284	0,2241	0,1980	0,4539

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,25	-0,1957	0,2021	0,1950	0,8690
3,25	-0,1340	0,2862	0,1968	0,8743
6,25	-0,2241	0,2284	0,1980	0,8787

Inviluppo spostamenti piedritto centrale

Y [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

0,25	-0,1991	0,1991	0,2019	0,6026
3,25	-0,2194	0,2194	0,2019	0,6084
6,25	-0,2265	0,2265	0,2013	0,6134

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,25	-0,2021	0,1957	0,1950	0,4510
3,25	-0,2862	0,1340	0,1968	0,4529
6,25	-0,2284	0,2241	0,1980	0,4539

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

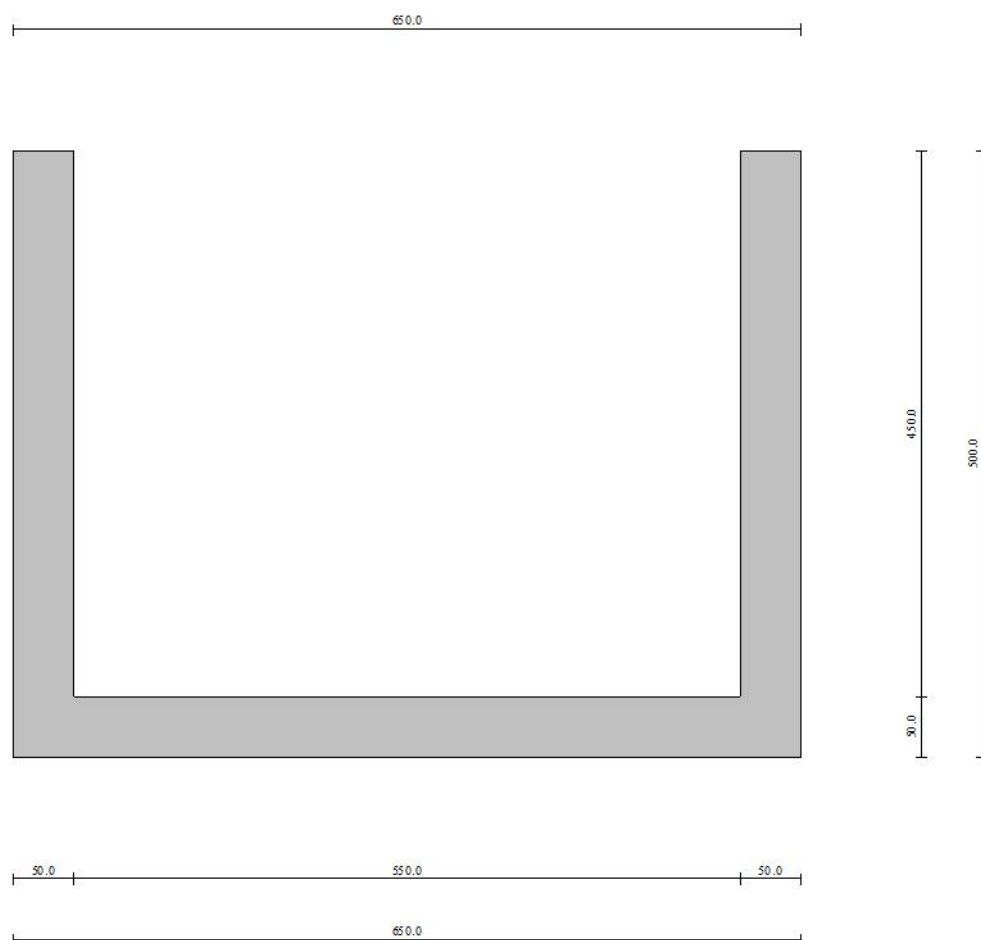
Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9 CHIAVICA DI SVASO – MURI LATERALI DISCENDENTI

9.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto in c.a. è relativa ai due muri laterali discendenti a monte della chiavica di svaso e soletta di fondazione che permettono il raccordo tra il manufatto descritto al punto precedente con le scarpate arginali in terra. La fondazione ha larghezza pari a 6,50 m. mentre i due muri verticali hanno altezza variabile. Lo spessore di ogni predetto elemento è 0,50 m.

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.



Il manufatto si colloca nel vertice Nord-Ovest della nuova cassa di espansione.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

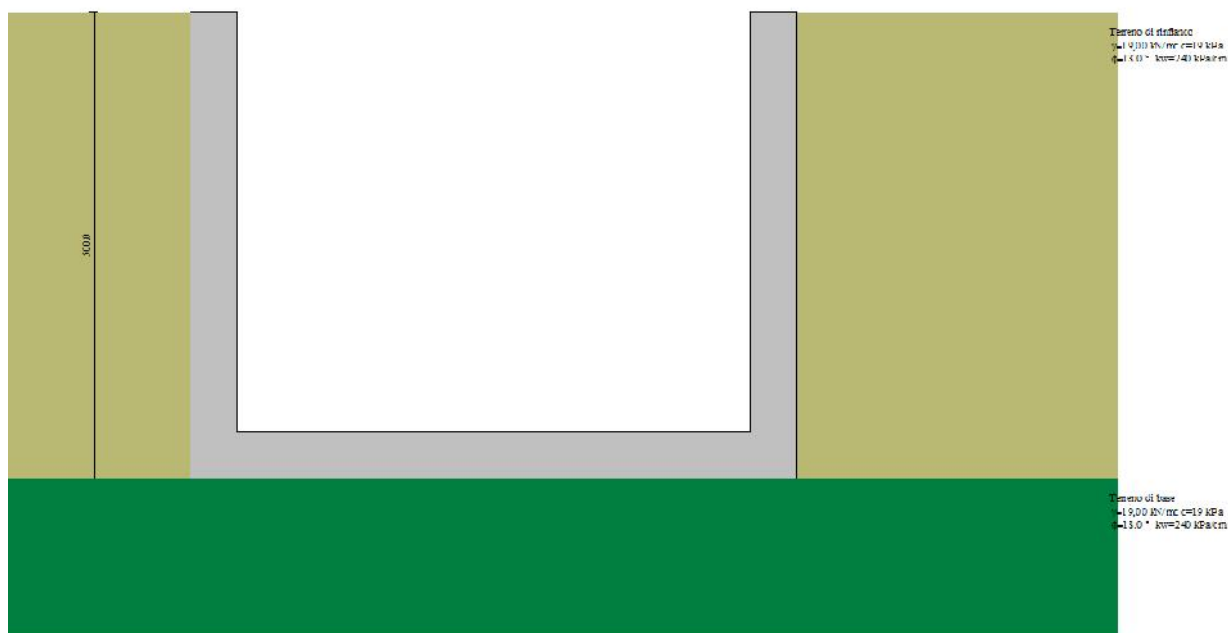
Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9.2 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione ed è il seguente con indicati i parametri caratteristici adottati:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Angolo di attrito terreno struttura [°]	Coesione efficace [kPa]
Terreno di rinfilanco	19,00	19,65	18,00	12,00	19
Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	12,00	19

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

9.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

dove ϕ rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

dove p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sotto spinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

9.3.2 SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate, in modo tale che non può svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, nonché nel caso di muri verticali con terrapieno a superficie orizzontale, l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato (metodo di Wood) come:

$$\Delta P_d = \alpha \gamma H^2$$

$$\alpha = a_g / g * S_s * \beta_m * S_t$$

H è l'altezza sulla quale agisce la spinta. Il punto di applicazione va preso a metà altezza.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9.4 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p . Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

9.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALICalcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione per piedritti e soletta di fondazione XC4
- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

Acciaio per c.a.: B450C

Copriferro: il calcolo deriva dal § 4.1.6.1.3 e dalla tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

9.6 VERIFICHE DELLA STRUTTURA

Stato limite Ultimo

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'**Approccio 2**.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelta il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\operatorname{ctg}(\theta) + \operatorname{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \operatorname{ctg} \theta^2)$$

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Stato Limite di EsercizioCriteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare) $0.60 f_{ck}$ Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.) $0.45 f_{ck}$ Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare) $0.80 f_{yk}$ Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure $w_1=0,20$ $w_2=0,30$ $w_3=0,40$ **Caratteristiche dell'azione sismica negli SLV**Accelerazione al suolo $a_g =$ $2.04 [m/s^2]$ Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S) 1.62 Coefficiente di amplificazione topografica (St) 1.00 Coefficiente riduzione (β_m) 1.00 Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale 0.50 Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) $k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S_s) = 33.63$ Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) $k_v=0.50 * k_h = 16.82$ **Caratteristiche dell'azione sismica negli SLO**Accelerazione al suolo $a_g =$ $0.78 [m/s^2]$ Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S) 1.80 Coefficiente di amplificazione topografica (St) 1.00 Coefficiente riduzione (β_m) 1.00 Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale 0.50 Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) $k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S_s) = 14.31$ Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) $k_v=0.50 * k_h = 7.15$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Forma diagramma incremento sismico

Rettangolare

Il calcolo della spinta sismica è stato effettuato con il metodo di Wood.

9.7 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera,
- Peso proprio dell'acqua in transito lungo il Cavo Bondeno per una altezza di 2,00 m.

I carichi variabili (Q) sono:

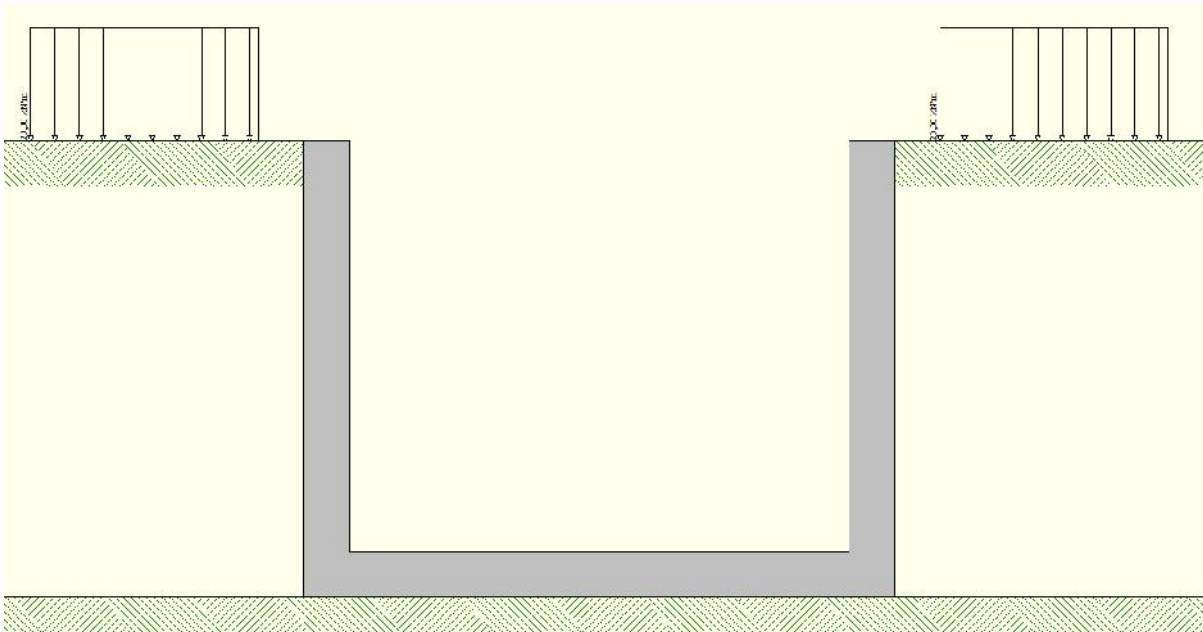
- Spinta derivante dalla presenza di azione variabile in sommità arginale dovuta al passaggio di mezzi per la manutenzione pari a 20 KPA.

I coefficienti di combinazione per il carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 21 combinazioni di carico complessive per gli SLU e SLE sismici e non.

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'Approccio 2.

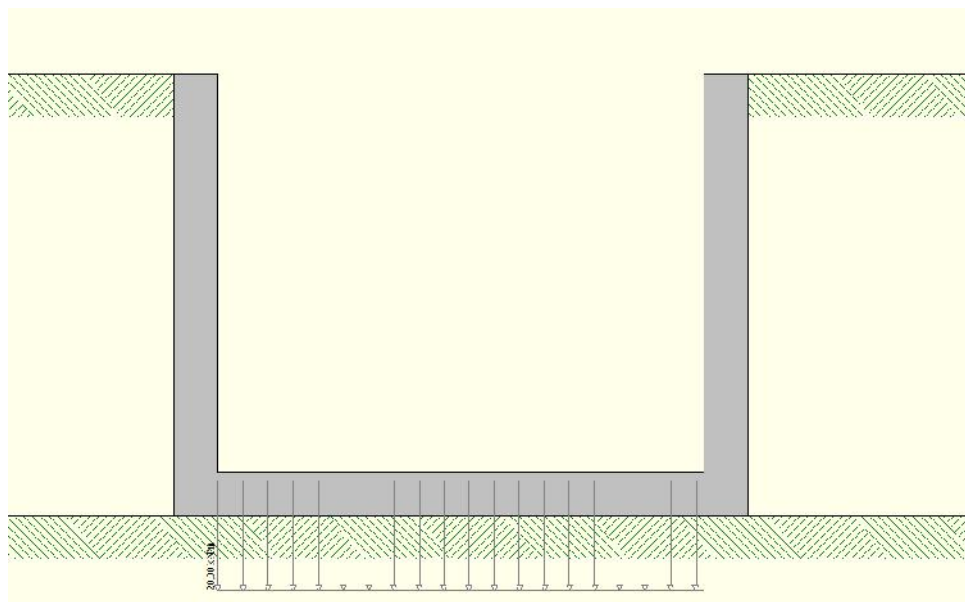


1. Posizione del carico derivante dal passaggio dei mezzi di manutenzione

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



2. Posizione del carico permanente dovuto alla presenza di acqua sulla fondazione

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9.8 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

Simbologia adottata ed unità di misura

N°	Indice sezione
X	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in cm
M	Momento flettente, espresso in kNm
V	Taglio, espresso in kN
N	Sforzo normale, espresso in kN
N_u	Sforzo normale ultimo, espressa in kN
M_u	Momento ultimo, espressa in kNm
A_{fi}	Area armatura inferiore, espresse in cmq
A_{fs}	Area armatura superiore, espresse in cmq
CS	Coeff. di sicurezza sezione
V_{Rd}	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi senza armature trasversali, espressa in kN
V_{Rcd}	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi con armature trasversali, espressa in kN
V_{Rsd}	Aliquota taglio assorbita armature trasversali, espressa in kN
A_{sw}	Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq

9.8.1 Stati Limite Ultimi e SLV

Inviluppo sollecitazioni fondazione

$X [m]$	$M_{min} [kNm]$	$M_{max} [kNm]$	$V_{min} [kN]$	$V_{max} [kN]$	$N_{min} [kN]$	$N_{max} [kN]$
0,25	-258,30	-40,18	-73,34	-46,42	40,75	140,80
1,78	-169,33	17,79	-65,02	-3,47	40,75	134,50
3,25	-95,49	34,39	-31,82	37,28	40,75	128,43
4,72	-169,33	17,79	9,19	69,82	40,75	134,50
6,25	-258,30	-40,18	46,42	73,34	40,75	140,80

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

$Y [m]$	$M_{min} [kNm]$	$M_{max} [kNm]$	$V_{min} [kN]$	$V_{max} [kN]$	$N_{min} [kN]$	$N_{max} [kN]$
0,25	-258,30	-40,18	40,80	132,99	48,44	75,70
2,63	-57,49	6,00	2,17	48,42	24,22	37,85
5,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

$Y [m]$	$M_{min} [kNm]$	$M_{max} [kNm]$	$V_{min} [kN]$	$V_{max} [kN]$	$N_{min} [kN]$	$N_{max} [kN]$
0,25	-258,30	-40,18	-132,99	-40,80	48,44	75,70
2,63	-57,49	6,00	-48,42	-2,17	24,22	37,85
5,00	0,00	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

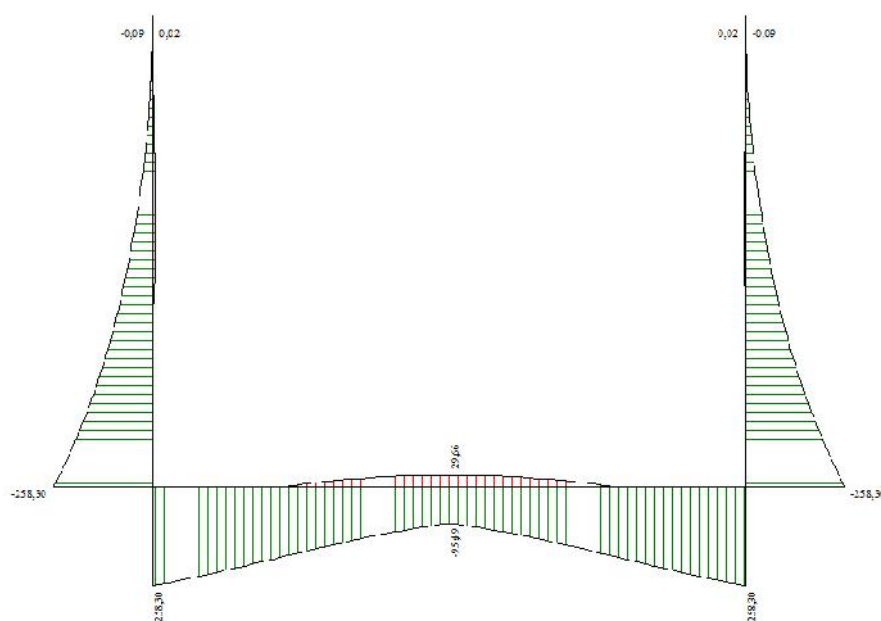


Diagramma di involuppo del Momento flettente negli SLU e SLV- [KN*m]

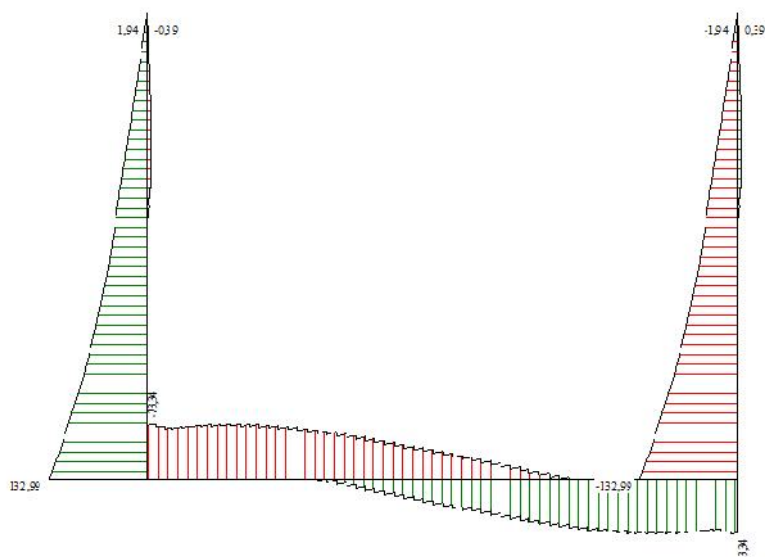


Diagramma di involuppo dello sforzo di Taglio negli SLU e SLV- [KN]

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

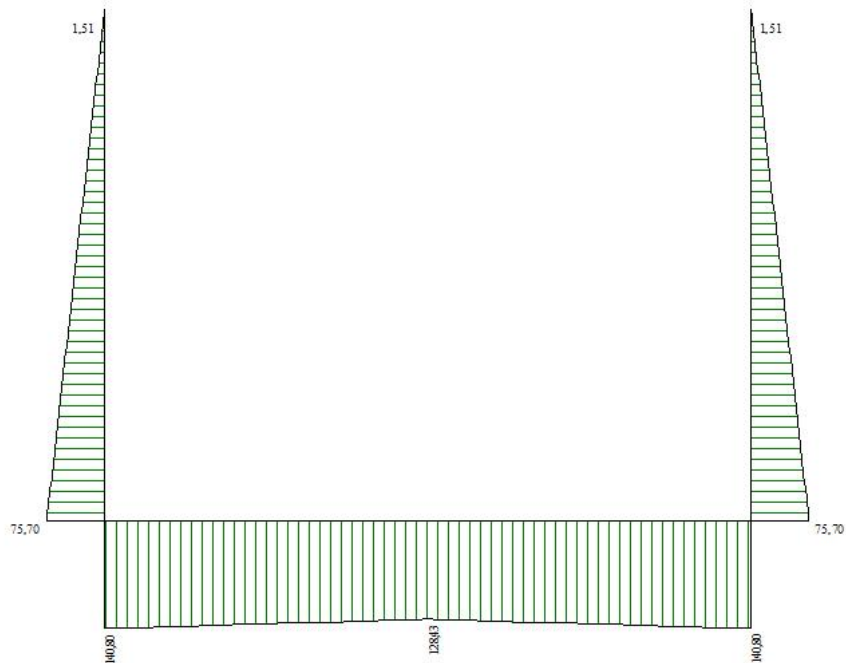


Diagramma di involuppo dello sforzo normale negli SLU e SLV- [KN]

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	12,57	1,12
1,78	15,71	12,57	1,55
3,25	15,71	12,57	3,08
4,72	15,71	12,57	1,54
6,25	15,71	12,57	1,12

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	214,83	0,00	0,00	0,00
1,78	207,01	0,00	0,00	0,00
3,25	207,01	0,00	0,00	0,00
4,72	207,01	0,00	0,00	0,00
6,25	214,83	0,00	0,00	0,00

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	1,06

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

2,63	15,71	15,71	3,64
5,00	15,71	15,71	1000,00

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	215,36	0,00	0,00	0,00
2,63	210,25	0,00	0,00	0,00
5,00	205,14	0,00	0,00	0,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,25	15,71	15,71	1,06
2,63	15,71	15,71	3,64
5,00	15,71	15,71	1000,00

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,25	215,36	0,00	0,00	0,00
2,63	210,25	0,00	0,00	0,00
5,00	205,14	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9.8.2 Stati Limite di Esercizio e SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	15,71	12,57	3910	147550	35753
1,78	15,71	12,57	1514	44027	19411
3,25	15,71	12,57	1342	12233	50924
4,72	15,71	12,57	1514	44027	19411
6,25	15,71	12,57	3910	147550	35753

X	† _c	A _{sw}
0,25	-159	0,00
1,78	-90	0,00
3,25	34	0,00
4,72	103	0,00
6,25	159	0,00

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	15,71	15,71	3819	34514	150181
2,63	15,71	15,71	716	7156	22639
5,00	15,71	15,71	0	0	0

X	† _c	A _{sw}
0,25	181	0,00
2,63	43	0,00
5,00	1	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 50,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,25	15,71	15,71	3819	34514	150181
2,63	15,71	15,71	716	7156	22639
5,00	15,71	15,71	0	0	0

X	† _c	A _{sw}
0,25	-181	0,00
2,63	-43	0,00
5,00	-1	0,00

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,2421	0,2467	-0,0325	0,2953
1,78	-0,2433	0,2456	0,1580	0,2939
3,25	-0,2445	0,2445	0,1964	0,3061
4,72	-0,2456	0,2433	0,1580	0,2939
6,17	-0,2467	0,2421	-0,0325	0,2953

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,2421	0,2467	-0,0325	0,2953
2,63	-0,0913	0,8063	-0,0319	0,2961
5,00	-0,0028	1,4778	-0,0318	0,2963

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,25	-0,2467	0,2421	-0,0325	0,2953
2,63	-0,8063	0,0913	-0,0319	0,2961
5,00	-1,4778	0,0028	-0,0318	0,2963

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

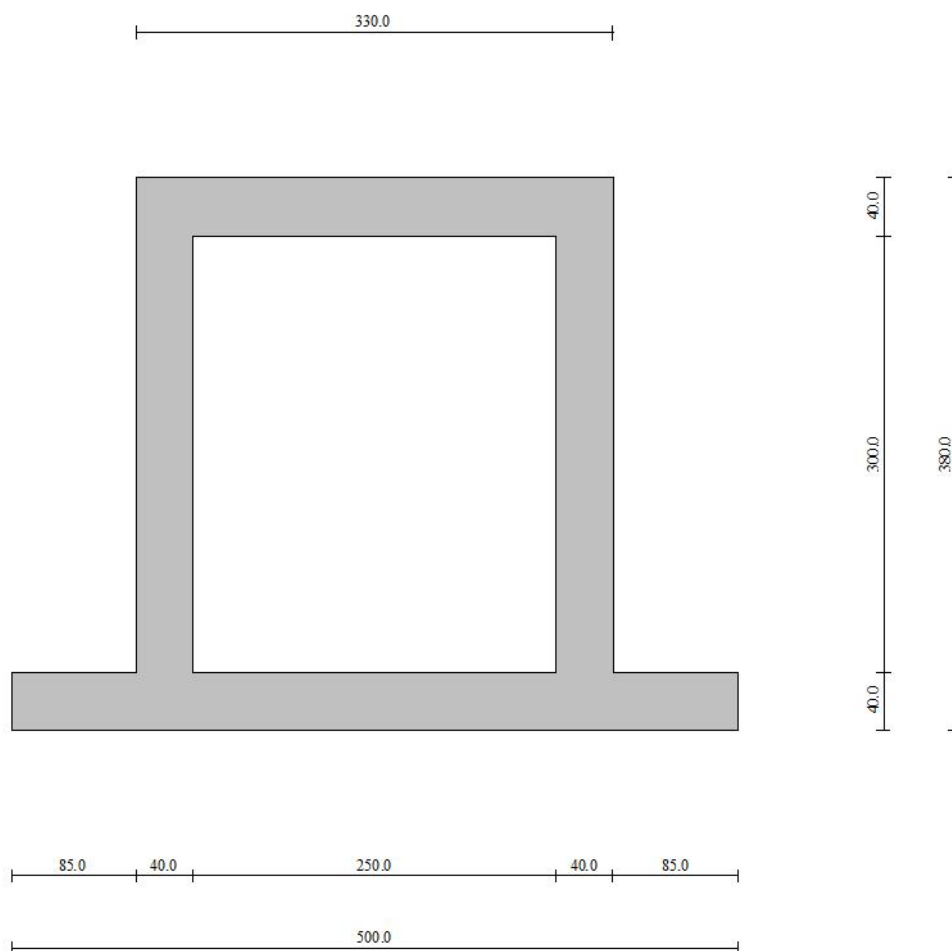
Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

10 MANUFATTO DI SCARICO DELLA CASSA

10.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto è funzionale allo scarico della cassa di espansione nel Dugale della Vittoria. Realizzata in c.a. e di lunghezza circa 40 m., è costituita da una sezione scatolare di larghezza e base interna rispettivamente pari a 2,50 e 3,00 m. Lo spessore di tutti gli elementi è di 0,40 m..

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

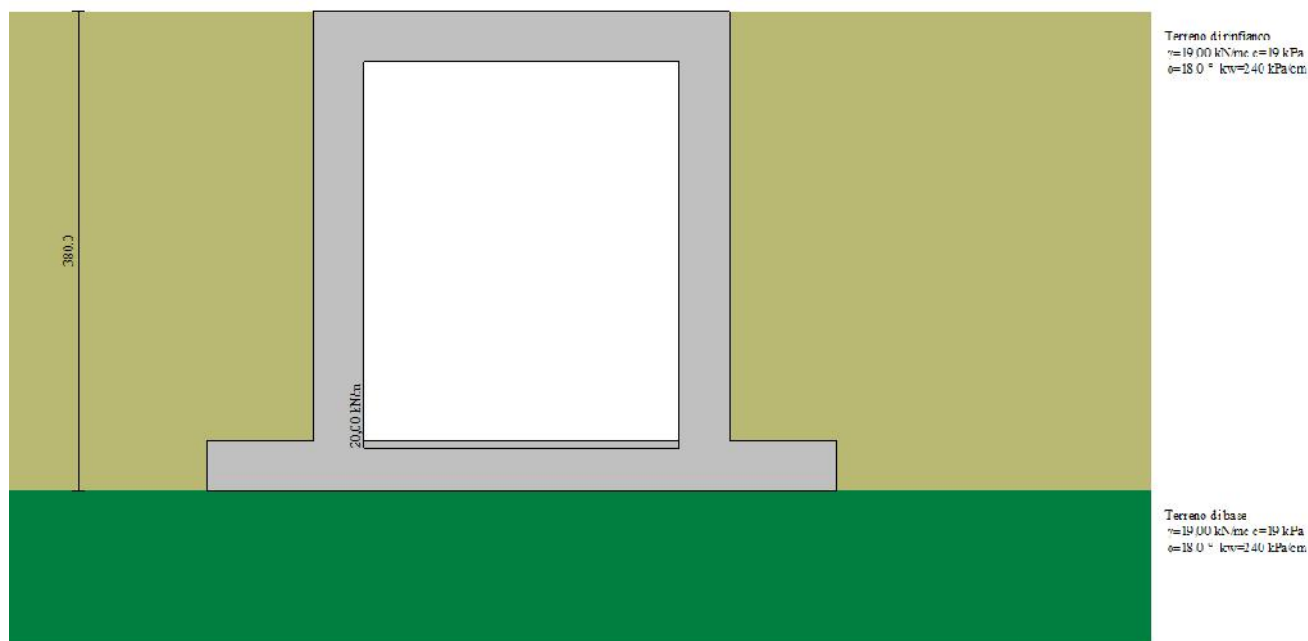
10.2 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione ed è il seguente con indicati i parametri caratteristici adottati:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Angolo di attrito terreno struttura [°]	Coesione efficace [kPa]
Terreno di rinfiango	19,00	19,65	18,00	12,00	19
Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	12,00	19

E' stata inserita la presenza della falda freatica ad una profondità di 4,50 m. dalla quota arginale a 21,50 mslm.

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

10.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

10.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

dove ϕ rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

dove p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sotto spinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

4.3.2 SPINTA SUI PIEDRITTI IN PRESENZA DI SISMA

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate, in modo tale che non può svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, nonché nel caso di muri verticali con terrapieno a superficie orizzontale, l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato (metodo di Wood) come:

$$\Delta P_d = \alpha \gamma H^2$$

$$\alpha = a_g / g * S_s * \beta_m * S_t$$

H è l'altezza sulla quale agisce la spinta. Il punto di applicazione va preso a metà altezza.

10.4 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi. Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p . Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

10.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000 [kPa]	
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione traverso superiore XC4+XF4
- Classe di esposizione piedritti e soletta di fondazione XC4
- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

Acciaio per c.a.: B450C

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Copriferro: il calcolo deriva dal § 4.1.6.1.3 e dalla tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

10.6 VERIFICHE DELLA STRUTTURA

Stato limite Ultimo

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'Approccio 2.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelta il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\operatorname{ctg}(\theta) + \operatorname{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \operatorname{ctg} \theta^2)$$

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Stato Limite di Esercizio

Criteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	0.60 f_{ck}
Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	0.45 f_{ck}
Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	0.80 f_{yk}

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno

Comune di Novellara (RE)

Apertura limite fessure $w_1=0,20$

$w_2=0,30$

$w_3=0,40$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Caratteristiche dell'azione sismica negli SLV

Accelerazione al suolo a_g =	2.04 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.62
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * Ss) = 33.63$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 16.82$

Caratteristiche dell'azione sismica negli SLO

Accelerazione al suolo a_g =	0.78 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.80
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * Ss) = 14.31$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 7.15$
Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare

Il calcolo della spinta sismica è stato effettuato con il metodo di Wood.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

10.7 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera,
- Peso proprio dell'acqua sulla fondazione relativo ad acqua in transito nello scatolare di altezza 2,00 m.,

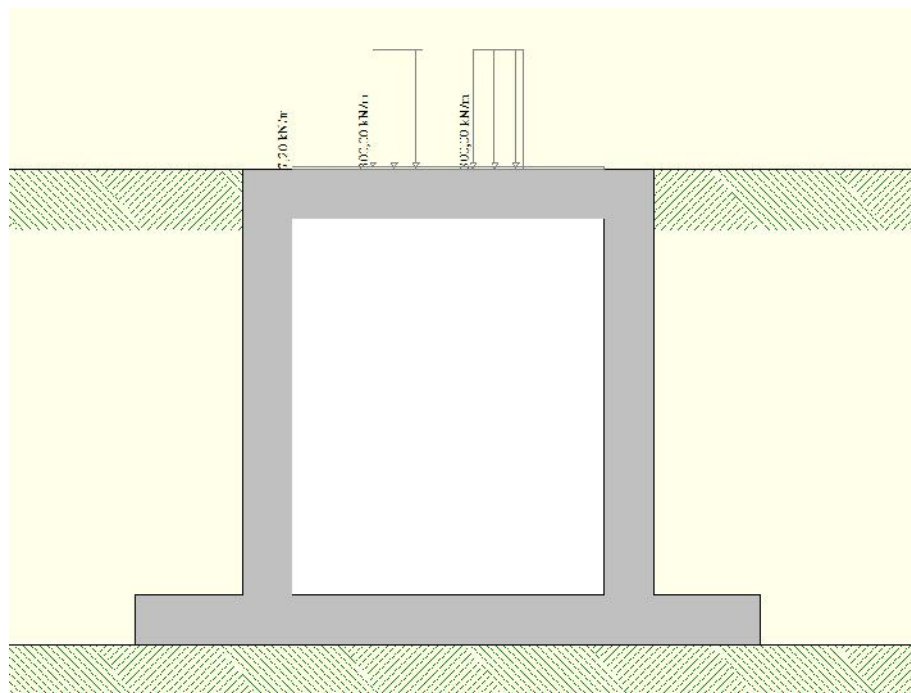
I carichi variabili (Q) sono:

- Passaggio dei mezzi di manutenzione per il quale si adotta il carico mobile del capitolo 5 delle NTC 2018 (schema n.1 e corsia n.1) diminuito del 20%.

I coefficienti di combinazione per carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 16 combinazioni di carico complessive per gli SLU e SLE sismici e non.

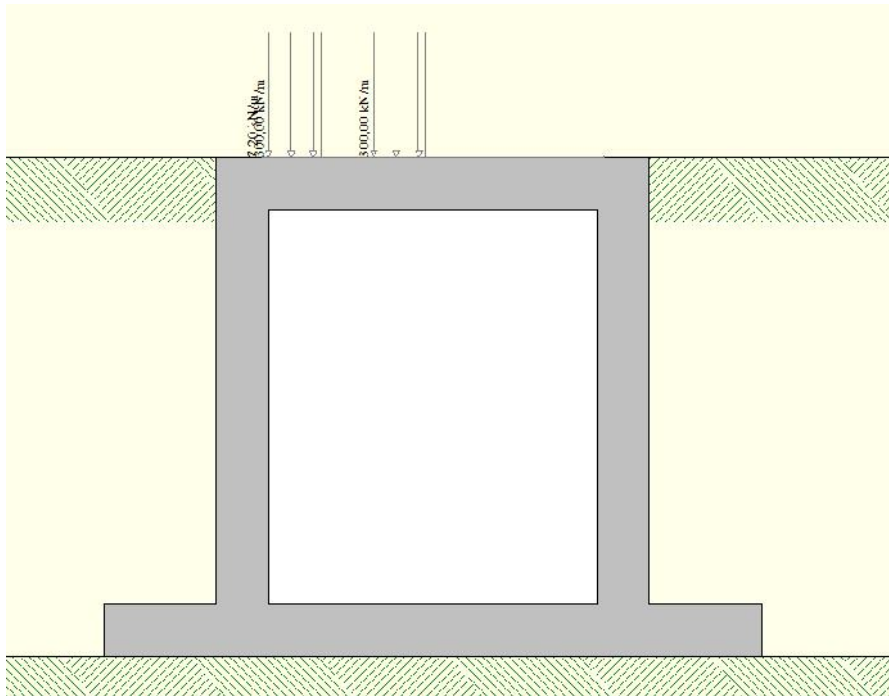


Posizione n.1 dello schema n.1 del carico da traffico

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Posizione n.2 dello schema n.1 del carico da traffico

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

10.8 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE*Simbologia adottata ed unità di misura**N°* Indice sezione*X* Ascissa/Ordinata sezione, espresso in cm*M* Momento flettente, espresso in kNm*V* Taglio, espresso in kN*N* Sforzo normale, espresso in kN*N_u* Sforzo normale ultimo, espressa in kN*M_u* Momento ultimo, espressa in kNm*A_{ti}* Area armatura inferiore, espresse in cmq*A_{fs}* Area armatura superiore, espresse in cmq*CS* Coeff. di sicurezza sezione*V_{Rd}* Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi senza armature trasversali, espressa in kN*V_{Rcd}* Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi con armature trasversali, espressa in kN*V_{Rsd}* Aliquota taglio assorbita armature trasversali, espressa in kN*A_{sw}* Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq**10.8.1 Stati Limite Ultimi e SLV****Inviluppo sollecitazioni fondazione**

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,00	0,00	0,00	2,67	8,96	-5,07	5,02
1,25	-49,77	-2,54	-153,51	-30,25	1,04	41,07
2,50	12,77	62,49	-10,96	7,00	1,04	36,95
3,75	-18,72	5,53	34,82	136,12	1,04	41,07
5,00	0,00	0,00	-7,37	-2,67	-5,07	5,02

Inviluppo sollecitazioni traverso

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
1,05	-72,28	-1,72	11,19	256,22	-1,90	29,94
1,78	-1,92	83,10	5,28	178,29	-1,90	29,94
2,50	0,69	121,24	-98,91	0,64	-1,90	29,94
3,26	-2,17	55,99	-179,13	-5,58	-1,90	29,94
3,95	-72,68	-1,72	-192,64	-11,19	-1,90	29,94

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,20	-35,21	-10,18	1,04	40,17	38,93	299,56
1,90	-28,30	7,98	-21,47	3,25	25,06	277,89
3,60	-72,28	-1,72	-28,90	1,90	11,19	256,22

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,20	-25,73	-0,01	-40,17	-1,04	38,93	235,98
1,90	-28,30	7,98	-3,25	29,28	25,06	214,31
3,60	-72,68	-1,72	-1,90	29,94	11,19	192,64

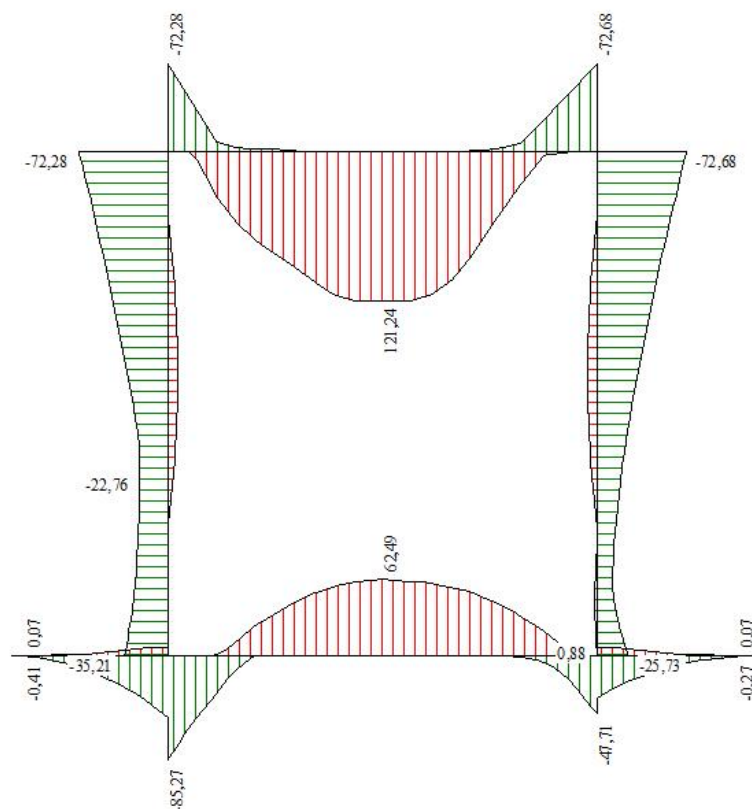


Diagramma di involuppo del Momento flettente negli SLU e SLV- [KN*m]

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

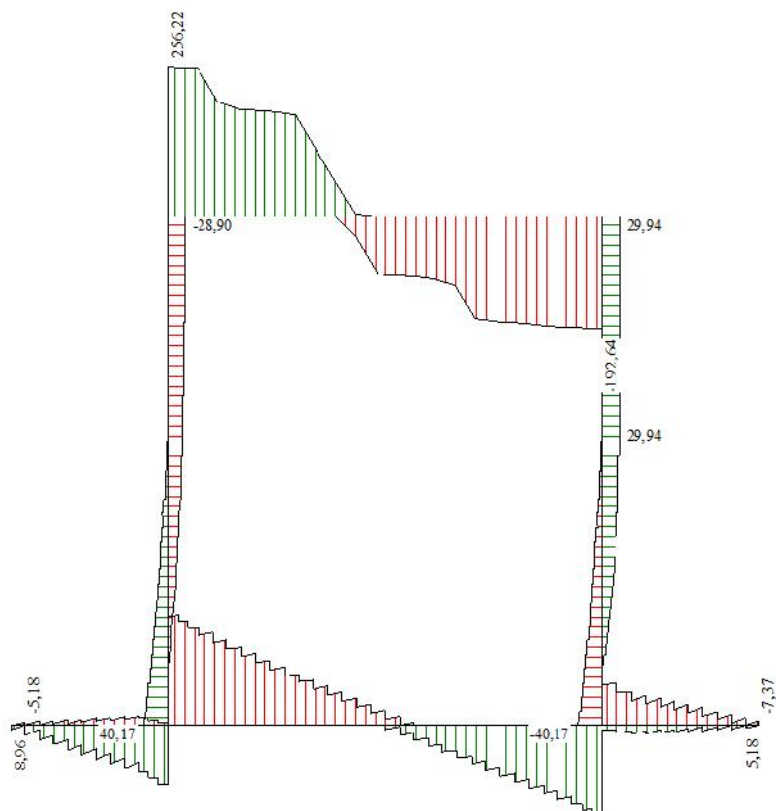
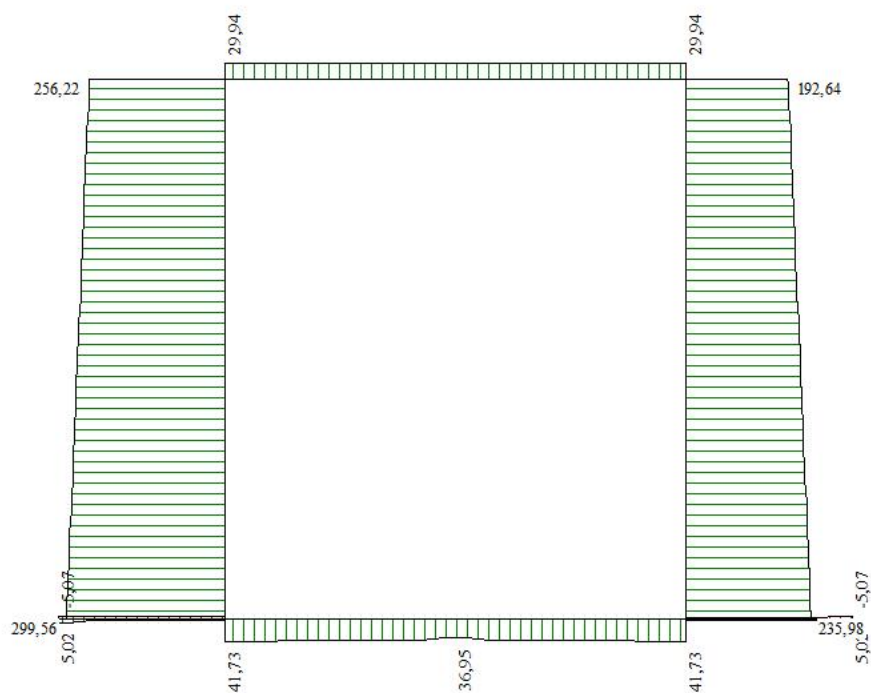


Diagramma di involuppo dello sforzo di Taglio negli SLU e SLV- [KN]



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Diagramma di inviluppo dello sforzo normale negli SLU e SLV– [KN]

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,00	12,57	12,57	75,75
1,25	12,57	12,57	2,00
2,50	12,57	12,57	2,70
3,75	12,57	12,57	3,57
5,00	12,57	12,57	75,75

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,00	169,68	0,00	0,00	0,00
1,25	173,38	0,00	0,00	2,01
2,50	173,38	0,00	0,00	0,00
3,75	173,38	0,00	0,00	0,00
5,00	169,68	0,00	0,00	0,00

Verifica sezioni traverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
1,05	12,57	12,57	2,42
1,78	16,59	12,57	1,87
2,50	16,59	12,57	1,83
3,26	16,59	12,57	1,98
3,95	12,57	12,57	2,42

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
1,05	173,61	817,80	1465,35	2,01
1,78	173,48	490,68	1465,15	2,01
2,50	169,71	0,00	0,00	0,00
3,26	173,48	377,45	1465,15	2,01
3,95	173,48	817,80	1465,15	2,01

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,20	14,58	12,57	8,52
1,90	12,57	12,57	14,34
3,60	14,58	12,57	3,87

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,20	177,80	0,00	0,00	0,00
1,90	174,96	0,00	0,00	0,00
3,60	172,11	0,00	0,00	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,20	12,57	12,57	8,51
1,90	12,57	12,57	14,34
3,60	14,58	12,57	3,13

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0,20	177,80	0,00	0,00	0,00
1,90	174,96	0,00	0,00	0,00
3,60	172,11	0,00	0,00	0,00

10.8.2 Stati Limite di Esercizio e SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,00	12,57	12,57	11	2117	801
1,25	12,57	12,57	2079	85750	14476
2,50	12,57	12,57	2915	19701	124421
3,75	12,57	12,57	722	30475	11058
5,00	12,57	12,57	11	536	801

X	† _c	A _{sw}
0,00	-14	0,00
1,25	-392	2,01
2,50	-27	0,00
3,75	349	0,00
5,00	14	0,00

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Verifica sezioni traverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
1,05	12,57	12,57	3100	22104	124248
1,78	16,59	12,57	3352	115408	26607
2,50	16,59	12,57	4840	169946	37956
3,26	16,59	12,57	2287	76808	18436
3,95	12,57	12,57	3119	22275	124808

X	† _c	A _{sw}
1,05	640	2,01
1,78	445	2,01
2,50	-246	0,00
3,26	-447	2,01
3,95	-481	2,01

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,20	14,58	12,57	1418	17567	32184
1,90	12,57	12,57	1318	15516	10042
3,60	14,58	12,57	3087	28474	78535

Y	† _c	A _{sw}
0,20	76	0,00
1,90	-45	0,00
3,60	-65	0,00

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm - Altezza sezione H = 40,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	† _c	† _{fi}	† _{fs}
0,20	12,57	12,57	1171	10758	32214
1,90	12,57	12,57	1318	15516	10777
3,60	14,58	12,57	3117	28474	95820

Y	† _c	A _{sw}
0,20	-76	0,00
1,90	65	0,00
3,60	67	0,00

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
-------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

0,00	-0,0847	0,0855	0,2359	0,7903
1,25	-0,0848	0,0855	0,2325	0,7078
2,50	-0,0851	0,0851	0,2292	0,6097
3,75	-0,0855	0,0848	0,2325	0,6287
4,91	-0,0855	0,0847	0,2359	0,6507

Inviluppo spostamenti traverso

X [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
1,05	-0,0818	0,0823	0,2336	0,7301
1,78	-0,0819	0,0822	0,2335	0,7160
2,50	-0,0821	0,0821	0,2341	0,6903
3,26	-0,0822	0,0819	0,2335	0,6715
3,95	-0,0823	0,0818	0,2336	0,6389

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,20	-0,0847	0,0855	0,2329	0,7229
1,90	-0,0802	0,0859	0,2334	0,7266
3,60	-0,0818	0,0823	0,2336	0,7301

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u _{Xmin} [cm]	u _{Xmax} [cm]	u _{Ymin} [cm]	u _{Ymax} [cm]
0,20	-0,0855	0,0847	0,2329	0,6334
1,90	-0,0859	0,0802	0,2334	0,6363
3,60	-0,0823	0,0818	0,2336	0,6389

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

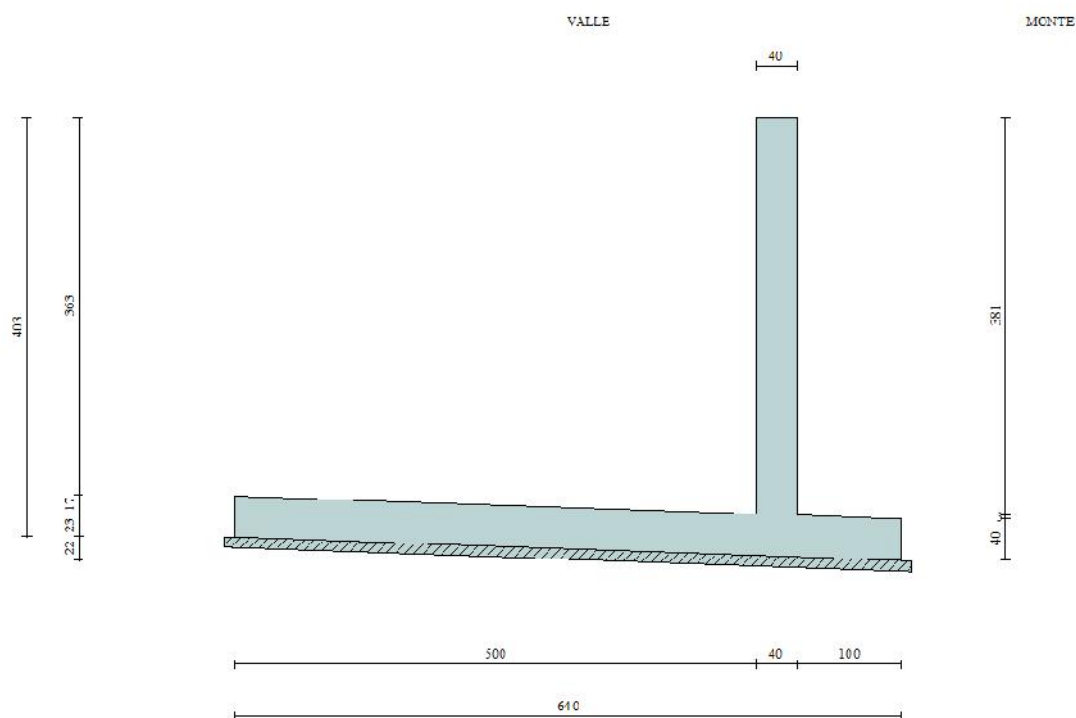
Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11 VASCA ALLO SCARICO DELLA CASSA – MURO LATO OVEST**11.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA**

In corrispondenza dello scarico dello scatolare di cui al predetto punto all'interno del Dugale della Vittoria, è necessario realizzare un manufatto di sbocco in c.a. costituito da una soletta di fondazione e da muri verticali perimetrali. L'altezza delle pareti perimetrali è variabile mentre gli spessori di muri e soletta è pari a 0,40 m.

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.

**11.2 MODELLO GEOTECNICO**

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione e nella tabella seguente sono indicati i parametri caratteristici:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Angolo di attrito terreno struttura [°]	Coesione efficace [kPa]
Terreno di rinfiaccio	19,00	19,65	18,00	12,00	19

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

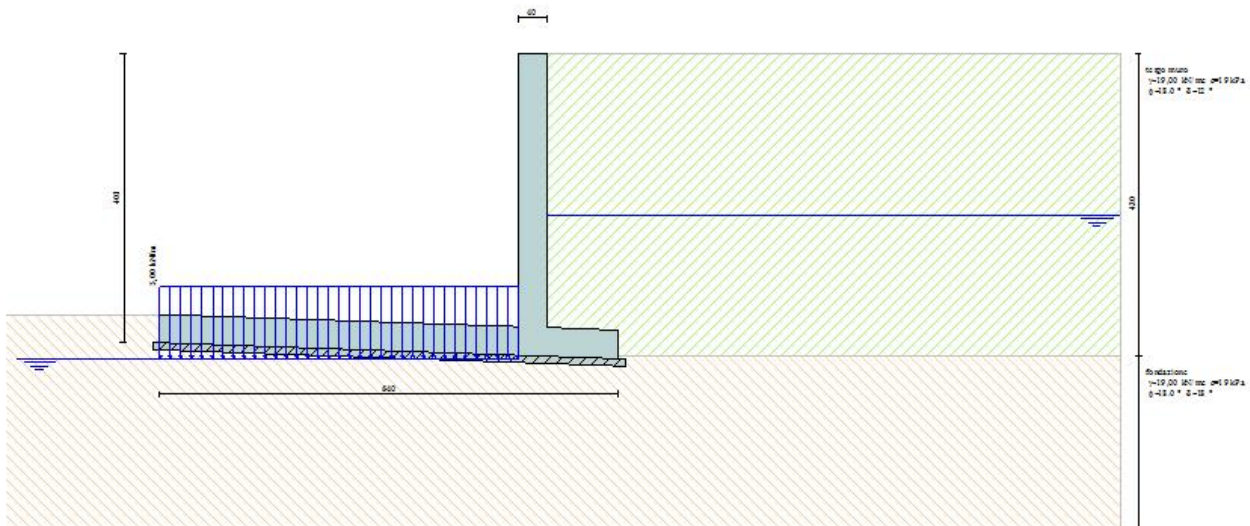
Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	18,00	19
-----------------------	-------	-------	-------	-------	----

E' stata inserita la presenza della falda freatica ad una profondità di 2,00 m. dalla quota arginale a 21,50 mslm.

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



11.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

11.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Il **metodo di Culmann** adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

Per tener conto dell'**incremento di spinta** dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la **spinta S'** considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h .

In **presenza di falda** a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat} - \gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat} - \gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = A S' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ . Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta.

La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

11.4.1 – Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli).

11.4.2 - Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s .

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.4.3 - Verifica al carico limite

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_{c i_c} + q N_q d_{q i_q} + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_q = A \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico.

11.4.4 - Verifica della stabilità globale

E' stata eseguita con il metodo di Bishop ed ha dato esito positivo.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Riassumendo:

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Meyerhof
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva
Calcolo stabilità globale	metodo di Bishop

11.5 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfiando e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p .

Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma:

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALICalcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione soletta di fondazione e muro verticale XC4
- Classe di esposizione piedritti e soletta di fondazione XC4
- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

Acciaio per c.a.: B450C

Copriferro: il calcolo deriva dal §4.1.6.3. e dalla tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

11.7 VERIFICHE DELLA STRUTTURA**Stato limite Ultimo**

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'**Approccio 2**.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelto il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

$$V_{Rsd}=0.9*d*A_{sw}/s*f_{yd}*(ctg\alpha+ctg\theta)*\sin\alpha$$

$$V_{Rcd}=0.9*d*b_w*\alpha_c*f_{cd}'*(ctg(\theta)+ctg(\alpha))/(1.0+ctg\theta^2)$$

$$f_{cd}'=0.5*f_{cd}$$

$$k=1+(200/d)^{1/2}$$

$$v_{min}=0.035*k^{3/2}*f_{ck}^{1/2}$$

Stato Limite di EsercizioCriteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	0.60 f_{ck}
---	---------------

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	0.45 f_{ck}
--	---------------

Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	0.80 f_{yk}
---	---------------

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure $w_1=0,20$	$w_2=0,30$	$w_3=0,40$
------------------------------------	------------	------------

Analisi sismica nelle combinazioni SLU e SLV

Accelerazione al suolo a_g	2.04 [m/s ²]
------------------------------	--------------------------

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.62
---	------

Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
---	------

Coefficiente riduzione (β_m)	0.38
--------------------------------------	------

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
--	------

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 12.78$
--	------------------------------------

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 6.39$
--	-------------------------

Analisi sismica nelle combinazioni SLE e SLO

Accelerazione al suolo a_g	0.61 [m/s ²]
------------------------------	--------------------------

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.80
---	------

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.47
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * S_t * S) = 5.30$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 2.65$
Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico
Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 0,70	
Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 0,70	

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.8 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera,
- Peso proprio dell'acqua di altezza 0,50 m. sulla fondazione,

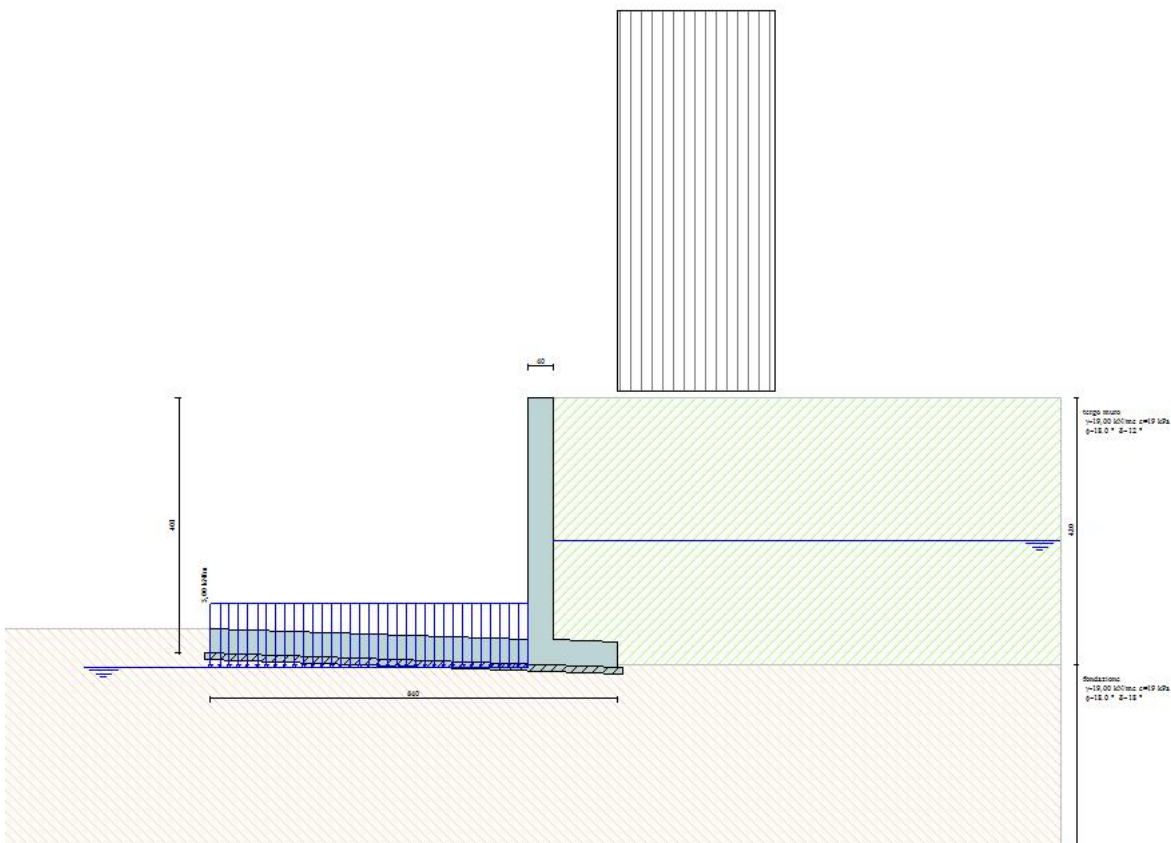
I carichi variabili (Q) sono:

- Spinta derivante dalla presenza di azione variabile in sommità arginale dovuta al passaggio di mezzi per la manutenzione pari a 20 KPA.

I coefficienti di combinazione per carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 28 combinazioni di carico complessive per gli SLU e SLE sismici e non.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno

Comune di Novellara (RE)

Posizione dei carichi permanenti e variabili

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.9 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE**11.9.1 - Verifiche geotecniche***Simbologia adottata*

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
<i>CS_{SCO}</i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS_{RIB}</i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS_{QLIM}</i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS_{STAB}</i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS_{sco}	CS_{rib}	CS_{qlim}	CS_{stab}
1	A1-M1 - [1]	--	2,13	--	5,19	--
2	A1-M1 - [1]	--	2,80	--	4,50	--
3	A1-M1 - [1]	--	2,41	--	4,88	--
4	A1-M1 - [1]	--	2,51	--	4,77	--
5	EQU - [1]	--	--	49,16	--	--
6	STAB - [1]	--	--	--	--	1,93
7	A1-M1 - [2]	--	1,23	--	3,65	--
8	A1-M1 - [2]	--	1,28	--	3,81	--
9	A1-M1 - [2]	--	1,11	--	4,01	--
10	A1-M1 - [2]	--	1,40	--	3,45	--
11	EQU - [2]	--	--	15,53	--	--
12	STAB - [2]	--	--	--	--	1,56
13	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,31	--	4,17	--
14	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,31	--	4,74	--
15	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	17,35	--	--
16	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	6,74	--	--
17	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,84
18	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,92
19	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,31	--	4,17	--
20	SLER - [2]	--	2,30	--	5,50	--
21	SLEF - [2]	--	2,77	--	5,83	--
22	SLEQ - [2]	--	4,44	--	6,49	--
23	SLER - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,46	--	4,47	--
24	SLER - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,52	--	4,77	--
25	SLEF - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,67	--	4,74	--
26	SLEF - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,74	--	5,04	--
27	SLEQ - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	2,34	--	5,33	--
28	SLEQ - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	2,37	--	5,62	--

Tutti i valori dei coefficienti di sicurezza sono maggiori di quelli minimi della normativa.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

11.9.2 STATI LIMITE ULTIMI E SLV

Inviluppo sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,19	1,8701	2,4312	0,0000	0,1363	0,0000	1,4218
3	0,38	3,7403	4,8624	0,0000	0,5392	0,0000	2,7955
4	0,57	5,6104	7,2936	0,0000	1,1995	0,0000	4,1209
5	0,76	7,4806	9,7247	0,0000	2,1078	0,0000	5,3981
6	0,95	9,3507	12,1559	0,0000	3,2552	0,0000	6,6272
7	1,14	11,2209	14,5871	0,0006	4,6324	0,0252	7,8080
8	1,33	13,0910	17,0183	0,0292	6,2301	0,3144	8,9407
9	1,53	14,9611	19,4495	0,1698	8,0392	0,3526	10,0251
10	1,72	16,8313	21,8807	0,3535	10,0506	0,3890	11,0613
11	1,91	18,7014	24,3119	0,4310	12,2549	0,4238	12,0494
12	2,10	20,5716	26,7430	0,5158	14,6439	0,4775	13,0099
13	2,29	22,4417	29,1742	0,6224	17,2232	0,6875	14,0802
14	2,48	24,3119	31,6054	0,8154	20,0485	1,4533	16,7029
15	2,67	26,1820	34,0366	1,2198	23,2360	2,9005	20,9175
16	2,86	28,0521	36,4678	1,9644	26,9055	5,0202	25,8050
17	3,05	29,9223	38,8990	3,1772	31,1763	6,9804	31,3631
18	3,24	31,7924	41,3301	4,9867	36,1679	9,0103	37,5898
19	3,43	33,6626	43,7613	7,5209	41,9995	12,2656	44,4839
20	3,62	35,5327	46,1925	10,9081	48,7906	17,5765	52,0443
21	3,81	37,4028	48,6237	15,2749	59,1548	24,7812	60,2356

Inviluppo sollecitazioni fondazione di valle

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,50	-2,1566	-1,4250	-8,1390	-5,2993
3	1,00	-7,6515	-4,8987	-13,3529	-8,1952
4	1,50	-15,0220	-9,2196	-15,6416	-8,6877
5	2,00	-22,8056	-13,1858	-15,0052	-6,7769
6	2,50	-29,5397	-15,5959	-11,4436	-2,4628
7	3,00	-33,7617	-15,2481	-4,9569	4,2761
8	3,50	-34,0091	-10,9406	4,4550	14,7456
9	4,00	-28,8192	-1,4719	16,7920	28,5516
10	4,50	-16,7295	14,4319	29,2892	46,8971
11	5,00	3,7225	40,4757	43,9109	68,5629

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

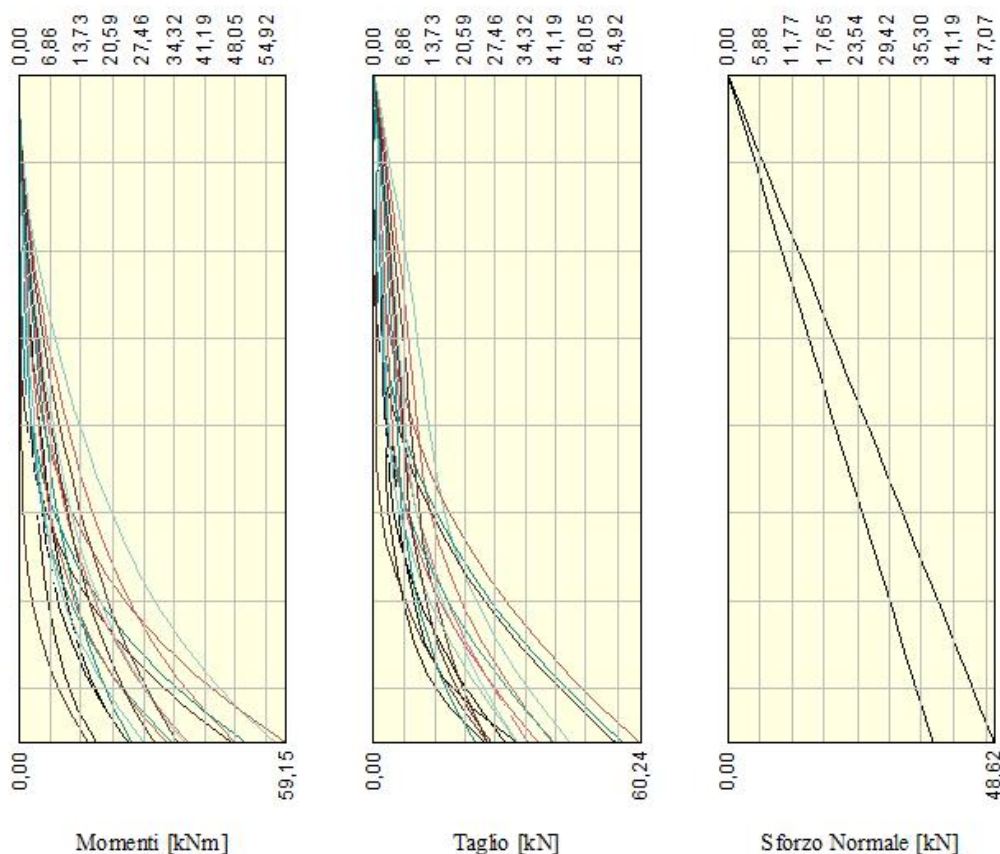
L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Inviluppo combinazioni SLU

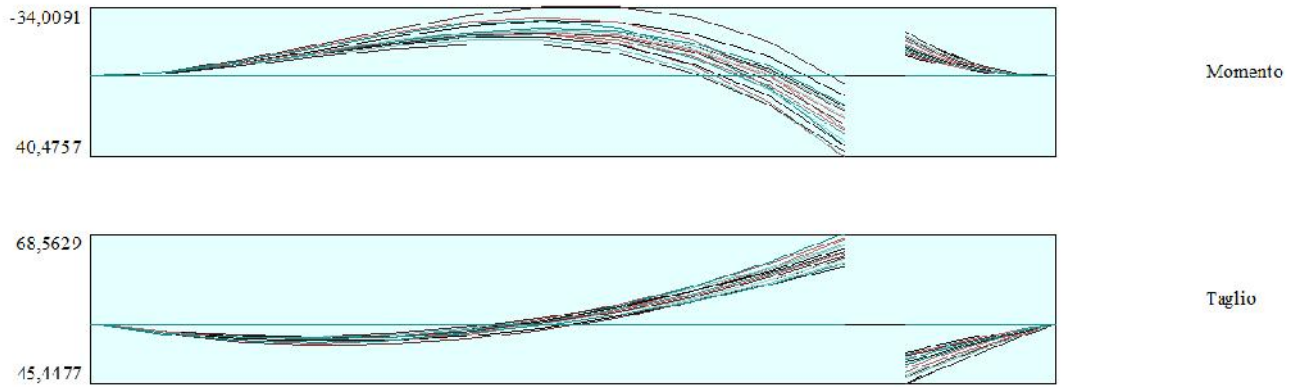
Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,10	-0,2069	-0,0838	-4,1520	-1,6931
3	0,20	-0,8333	-0,3419	-8,3913	-3,4844
4	0,30	-1,8880	-0,7840	-12,7179	-5,3741
5	0,40	-3,3797	-1,4199	-17,1317	-7,3620
6	0,50	-5,3172	-2,2596	-21,6328	-9,4482
7	0,60	-7,7090	-3,3127	-26,2213	-11,6327
8	0,70	-10,5641	-4,5892	-30,8970	-13,9154
9	0,80	-13,8910	-6,0988	-35,6599	-16,2964
10	0,90	-17,6985	-7,8514	-40,5102	-18,7757
11	1,00	-21,9954	-9,8568	-45,4477	-21,3533

*Muro verticale - Diagramma di inviluppo del momento flettente, taglio e sforzo normale negli SLU e SLV*

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Soletta di fondazione - Diagramma di involuppo del momento flettente e taglio negli SLU e SLV

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro verticale

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M _u	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
V _{Rcd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
V _{Rsd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
V _{Rd}	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100, 40	12,57	12,57	0,00	0,00	1000,00	169,68	--	--
2	0,19	100, 40	12,57	12,57	5451,32	0,00	2666,40	170,00	--	--
3	0,38	100, 40	12,57	12,57	3507,26	0,00	937,70	170,32	--	--
4	0,57	100, 40	12,57	12,57	2073,57	0,00	369,59	170,64	--	--
5	0,76	100, 40	12,57	12,57	1246,75	0,00	166,67	170,96	--	--
6	0,95	100, 40	12,57	12,57	847,84	0,00	90,67	171,28	--	--
7	1,14	100, 40	12,57	12,57	635,69	-0,31	56,65	171,60	--	--
8	1,33	100, 40	12,57	12,57	511,05	-11,99	39,04	171,92	--	--
9	1,53	100, 40	12,57	12,57	429,10	-60,28	28,68	172,24	--	--
10	1,72	100, 40	12,57	12,57	371,17	-110,20	22,05	172,56	--	--
11	1,91	100, 40	12,57	12,57	328,09	-120,63	17,54	172,88	--	--
12	2,10	100, 40	12,57	12,57	294,81	-130,90	14,33	173,19	--	--
13	2,29	100, 40	12,57	12,57	268,08	-144,32	11,95	173,51	--	--
14	2,48	100, 40	12,57	12,57	245,21	-173,30	10,09	173,83	--	--
15	2,67	100, 40	12,57	12,57	224,20	-198,97	8,56	174,15	--	--

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

16	2,86	100,40	12,57	12,57	204,24	-195,89	7,28	174,47	--	--
17	3,05	100,40	12,57	12,57	185,20	-192,96	6,19	173,61	--	--
18	3,24	100,40	12,57	12,57	167,17	-190,18	5,26	173,86	--	--
19	3,43	100,40	12,57	12,57	150,35	-187,58	4,47	174,10	--	--
20	3,62	100,40	12,57	12,57	134,87	-185,20	3,80	174,35	--	--
21	3,81	100,40	0,00	12,57	5,27	-8,33	0,14	170,87	--	--

Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100,40	12,57	12,57	0,00	0,00	1000,00	169,68	--	--
2	0,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	76,23	169,68	--	--
3	1,00	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	21,49	169,68	--	--
4	1,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	10,94	169,68	--	--
5	2,00	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	7,21	169,68	--	--
6	2,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	5,57	169,68	--	--
7	3,00	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	4,87	169,68	--	--
8	3,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	4,83	169,68	--	--
9	4,00	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	5,70	169,68	--	--
10	4,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	9,83	169,68	--	--
11	5,00	100,40	12,57	12,57	0,00	164,40	4,06	169,68	--	--

Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100,40	12,57	12,57	0,00	0,00	1000,00	169,68	--	--
2	0,10	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	794,67	169,68	--	--
3	0,20	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	197,28	169,68	--	--
4	0,30	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	87,07	169,68	--	--
5	0,40	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	48,64	169,68	--	--
6	0,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	30,92	169,68	--	--
7	0,60	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	21,33	169,68	--	--
8	0,70	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	15,56	169,68	--	--
9	0,80	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	11,83	169,68	--	--
10	0,90	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	9,29	169,68	--	--
11	1,00	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	7,47	169,68	--	--

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

9.9.3 STATI LIMITE DI ESERCIZIO E SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Inviluppo sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,19	1,8701	1,8701	0,0194	0,0915	0,2030	0,9538
3	0,38	3,7403	3,7403	0,0772	0,3617	0,4024	1,8754
4	0,57	5,6104	5,6104	0,1727	0,8047	0,5984	2,7645
5	0,76	7,4806	7,4806	0,3052	1,4141	0,7908	3,6214
6	0,95	9,3507	9,3507	0,4740	2,1838	0,9796	4,4459
7	1,14	11,2209	11,2209	0,6786	3,1076	1,1650	5,2380
8	1,33	13,0910	13,0910	0,9181	4,1795	1,3469	5,9979
9	1,53	14,9611	14,9611	1,1921	5,3932	1,5252	6,7254
10	1,72	16,8313	16,8313	1,4997	6,7425	1,7050	7,4206
11	1,91	18,7014	18,7014	1,8546	8,2213	2,0732	8,0834
12	2,10	20,5716	20,5716	2,3204	9,8234	2,8953	8,7139
13	2,29	22,4417	22,4417	2,9888	11,5428	4,1897	9,3197
14	2,48	24,3119	24,3119	3,9573	13,3929	5,7101	10,1377
15	2,67	26,1820	26,1820	5,3446	15,4299	7,4893	11,7260
16	2,86	28,0521	28,0521	7,2670	17,7157	8,8057	14,3698
17	3,05	29,9223	29,9223	9,8399	20,3121	10,4626	17,9159
18	3,24	31,7924	31,7924	13,1781	23,2814	12,4961	22,7077
19	3,43	33,6626	33,6626	17,3429	26,6928	15,1510	28,1429
20	3,62	35,5327	35,5327	21,0670	31,0234	18,6961	34,2207
21	3,81	37,4028	37,4028	25,0396	37,2133	23,0789	40,8938

Inviluppo sollecitazioni fondazione di valle

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

2	0,50	-1,6474	-1,6325	-6,1919	-6,1032
3	1,00	-5,7942	-5,6765	-9,9979	-9,6460
4	1,50	-11,2476	-10,8517	-11,4180	-10,6283
5	2,00	-16,8146	-15,8780	-10,4523	-9,0502
6	2,50	-21,3023	-19,4752	-7,1008	-4,9116
7	3,00	-23,5178	-20,3629	-1,3634	1,7874
8	3,50	-22,2680	-17,2610	6,7599	11,0469
9	4,00	-16,3602	-8,8893	17,2690	22,8668
10	4,50	-4,6014	6,0325	30,1640	37,2471
11	5,00	14,2014	28,7846	45,4449	54,1879

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,10	-0,1146	-0,0923	-2,3064	-1,8626
3	0,20	-0,4642	-0,3757	-4,7014	-3,8209
4	0,30	-1,0578	-0,8597	-7,1850	-5,8747
5	0,40	-1,9041	-1,5538	-9,7572	-8,0242
6	0,50	-3,0121	-2,4676	-12,4181	-10,2693
7	0,60	-4,3906	-3,6107	-15,1676	-12,6100
8	0,70	-6,0484	-4,9926	-18,0057	-15,0462
9	0,80	-7,9944	-6,6229	-20,9324	-17,5781
10	0,90	-10,2375	-8,5111	-23,9478	-20,2056
11	1,00	-12,7865	-10,6668	-27,0518	-22,9288

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro verticale

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B base della sezione espressa in [cm]

H altezza della sezione espressa in [cm]

A_{fs} area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]A_{fi} area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]σ_c tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]σ_c tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]σ_{fs} tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]σ_{fi} tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]N_u sforzo normale ultimo espresso in [kN]M_u momento ultimo espresso in [kNm]

CS coefficiente sicurezza sezione

VR_{cd} Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]VR_{sd} Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]VR_d Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	σ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0,00	100, 40	12,57	12,57	0	0	0	0
2	0,19	100, 40	12,57	12,57	7	3	-57	-97
3	0,38	100, 40	12,57	12,57	21	6	-100	-264
4	0,57	100, 40	12,57	12,57	45	9	317	-532

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

5	0,76	100,40	12,57	12,57	81	12	1038	-895
6	0,95	100,40	12,57	12,57	128	15	2194	-1330
7	1,14	100,40	12,57	12,57	184	18	3758	-1830
8	1,33	100,40	12,57	12,57	249	20	5703	-2388
9	1,53	100,40	12,57	12,57	323	23	8011	-3003
10	1,72	100,40	12,57	12,57	404	25	10663	-3671
11	1,91	100,40	12,57	12,57	493	27	13643	-4390
12	2,10	100,40	12,57	12,57	589	29	16935	-5158
13	2,29	100,40	12,57	12,57	693	31	20523	-5972
14	2,48	100,40	12,57	12,57	803	34	24440	-6838
15	2,67	100,40	12,57	12,57	925	39	28825	-7779
16	2,86	100,40	12,57	12,57	1062	48	33834	-8820
17	3,05	100,40	12,57	12,57	1217	60	39621	-9985
18	3,24	100,40	12,57	12,57	1394	76	46344	-11300
19	3,43	100,40	12,57	12,57	1597	95	54176	-12791
20	3,62	100,40	12,57	12,57	1854	115	64314	-14649
21	3,81	100,40	0,00	12,57	54177	137	0	593252

Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	E _c	E _c	E _{fi}	E _{fs}
12	0,00	100,40	12,57	12,57	0	0	0	0
13	0,50	100,40	12,57	12,57	97	-21	-651	4140
14	1,00	100,40	12,57	12,57	340	-34	-2289	14562
15	1,50	100,40	12,57	12,57	660	-38	-4444	28267
16	2,00	100,40	12,57	12,57	986	-35	-6644	42258
17	2,50	100,40	12,57	12,57	1249	-24	-8417	53536
18	3,00	100,40	12,57	12,57	1379	6	-9292	59104
19	3,50	100,40	12,57	12,57	1306	37	-8798	55963
20	4,00	100,40	12,57	12,57	960	77	-6464	41116
21	4,50	100,40	12,57	12,57	354	125	15161	11564
22	5,00	100,40	12,57	12,57	1688	182	72340	-11373

Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	E _c	E _c	E _{fi}	E _{fs}
12	0,00	100,40	12,57	12,57	0	0	0	0
13	0,10	100,40	12,57	12,57	7	-8	-45	288
14	0,20	100,40	12,57	12,57	27	-16	-183	1167
15	0,30	100,40	12,57	12,57	62	-24	-418	2658
16	0,40	100,40	12,57	12,57	112	-33	-752	4785
17	0,50	100,40	12,57	12,57	177	-42	-1190	7570
18	0,60	100,40	12,57	12,57	258	-51	-1735	11034
19	0,70	100,40	12,57	12,57	355	-61	-2390	15201
20	0,80	100,40	12,57	12,57	469	-70	-3159	20091
21	0,90	100,40	12,57	12,57	600	-80	-4045	25728
22	1,00	100,40	12,57	12,57	750	-91	-5052	32135

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

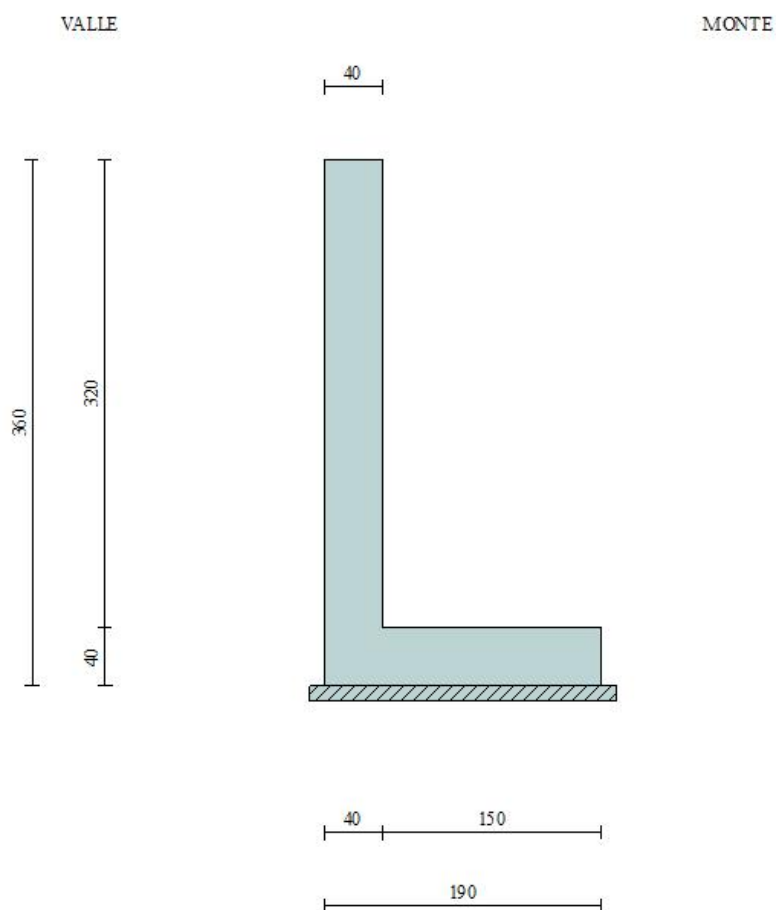
Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

12 VASCA ALLO SCARICO DELLA CASSA – MURO LATO SUD**12.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA**

In corrispondenza dello scarico dello scatolare di cui al predetto punto all'interno del Dugale della Vittoria, è necessario realizzare un manufatto di sbocco in c.a. costituito da una soletta di fondazione e da muri verticali perimetrali. L'altezza delle pareti perimetrali è variabile mentre gli spessori di muri e soletta è pari a 0,40 m.

Si rimanda agli elaborati grafici il dettaglio delle sagome civili e la distinta dei ferri.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

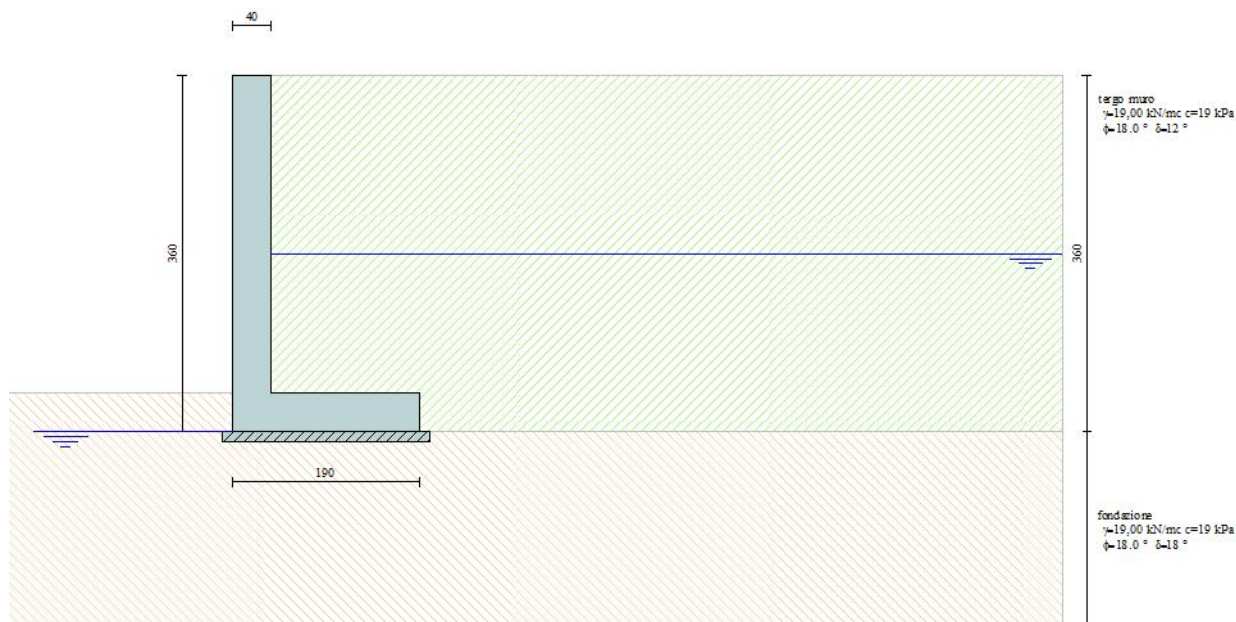
12.2 MODELLO GEOTECNICI

Il modello geotecnico è inserito nella omonima relazione e nella tabella seguente sono indicati i parametri caratteristici:

Descrizione	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Angolo di attrito terreno struttura [°]	Coesione [kPa]
Terreno di rinfiancio	19,00	19,65	18,00	12,00	19
Terreno di fondazione	19,00	19,65	18,00	18,00	19

E' stata inserita la presenza della falda freatica ad una profondità di 1,80 m. dalla quota arginale a 21,50 mslm.

La categoria di suolo dal punto di vista sismico è la D.



PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

12.3 CALCOLO DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA

12.3.1 SPINTA SUI PIEDRITTI

Il **metodo di Culmann** adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

Per tener conto dell'**incremento di spinta** dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la **spinta S'** considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h . In **presenza di falda** a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat} - \gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat} - \gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = A S' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ . Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta.

La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

12.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

12.4.1 – Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli).

12.4.2 - Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s .

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_f$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

12.4.3 - Verifica al carico limite

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_{c i_c} + q N_q d_{q i_q} + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico.

12.4.4 - Verifica della stabilità globale

E' stata eseguita con il metodo di Bishop ed ha dato esito positivo.

Riassumendo:

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Meyerhof
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva
Calcolo stabilità globale	metodo di Bishop

12.5 TIPO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfilanco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p .

Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma:

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti u

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

12.6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo:

Rck calcestruzzo	40.000 [kPa]	
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	33.149.080	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	450.000	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

Ai sensi della norma UNI EN 206-1 vengono designate le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C32/40
- Classe di esposizione soletta di fondazione e muro verticale XC4
- Classe di esposizione piedritti e soletta di fondazione XC4
- Classe di consistenza S4
- Diametro massimo dell'aggregato 20 mm.

Acciaio per c.a.: B450C

Copriferro: il calcolo deriva dal § 4.1.6.3. e dalle tabella C4.1.IV delle NTC ed è pari a 50 mm.

12.7 VERIFICHE DELLA STRUTTURA

Stato limite Ultimo

Le verifiche sono state condotte secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con l'**Approccio 2**.

Per quanto attiene gli Stati Limite Ultimi, i coefficienti parziali di sicurezza adottati di normativa sono:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Per quanto riguarda la **verifica a taglio** è stata scelta il metodo dell'inclinazione variabile del traliccio:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

$$V_{Rsd}=0.9*d*A_{sw}/s*f_{yd}*(ctg\alpha+ctg\theta)*\sin\alpha$$

$$V_{Rcd}=0.9*d*b_w*\alpha_c*f_{cd}'*(ctg(\theta)+ctg(\alpha))/(1.0+ctg\theta^2)$$

$$f_{cd}'=0.5*f_{cd}$$

$$k=1+(200/d)^{1/2}$$

$$v_{min}=0.035*k^{3/2}*f_{ck}^{1/2}$$

Stato Limite di EsercizioCriteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	0.60 f_{ck}
---	---------------

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	0.45 f_{ck}
--	---------------

Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	0.80 f_{yk}
---	---------------

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure $w_1=0,20$	$w_2=0,30$	$w_3=0,40$
------------------------------------	------------	------------

Analisi sismica nelle combinazioni SLU e SLV

Accelerazione al suolo a_g	2.04 [m/s ²]
------------------------------	--------------------------

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.62
---	------

Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
---	------

Coefficiente riduzione (β_m)	0.38
--------------------------------------	------

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
--	------

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 12.78$
--	------------------------------------

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 6.39$
--	-------------------------

Analisi sismica nelle combinazioni SLE e SLO

Accelerazione al suolo a_g	0.61 [m/s ²]
------------------------------	--------------------------

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.80
---	------

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.47
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * S_t * S) = 5.30$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 2.65$
Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico
Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 0,70	
Coefficiente correttivo su $N\gamma$ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 0,70	

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

12.8 AZIONI DI PROGETTO, CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti (G) considerati sono:

- Peso proprio del manufatto,
- Spinta a riposo del terrapieno posto a tergo dell'opera.

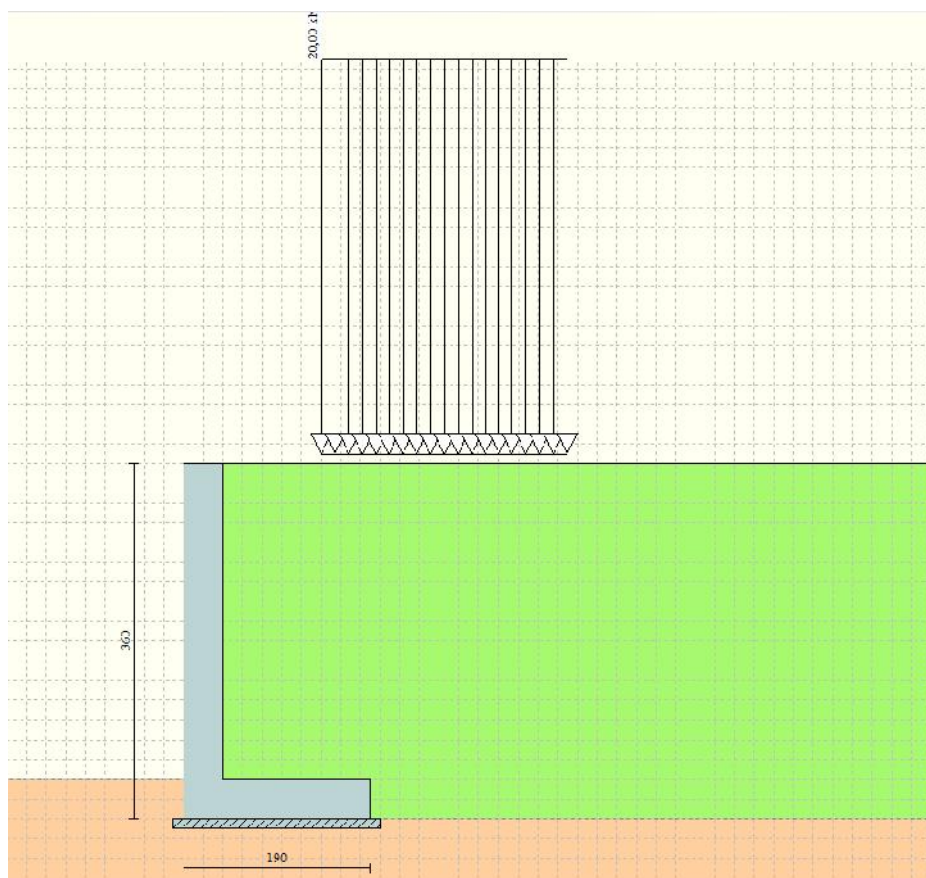
I carichi variabili (Q) sono:

- Spinta derivante dalla presenza di azione variabile in sommità arginale dovuta al passaggio di mezzi per la manutenzione pari a 20 KPA.

I coefficienti di combinazione per carico variabile sono $\Psi_0 = 0,75$ $\Psi_1 = 0,75$ $\Psi_2 = 0,00$

Si è applicata l'azione sismica (E).

Si sono considerate 28 combinazioni di carico complessive per gli SLU e SLE sismici e non.



Posizione dei carichi variabili

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

12.9 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE**12.9.1 - Verifiche geotecniche***Simbologia adottata*

C	Identificativo della combinazione
Tipo	Tipo combinazione
Sisma	Combinazione sismica
CS_{sco}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
CS_{rib}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
CS_{qlim}	Coeff. di sicurezza a carico limite
CS_{stab}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS_{sco}	CS_{rib}	CS_{qlim}	CS_{stab}
1	A1-M1 - [1]	--	1,94	--	2,84	--
2	A1-M1 - [1]	--	2,50	--	2,39	--
3	A1-M1 - [1]	--	2,30	--	2,65	--
4	A1-M1 - [1]	--	2,13	--	2,53	--
5	EQU - [1]	--	--	9,35	--	--
6	STAB - [1]	--	--	--	--	1,94
7	A1-M1 - [2]	--	1,32	--	1,77	--
8	A1-M1 - [2]	--	1,24	--	1,65	--
9	A1-M1 - [2]	--	1,14	--	1,78	--
10	A1-M1 - [2]	--	1,42	--	1,64	--
11	EQU - [2]	--	--	3,70	--	--
12	STAB - [2]	--	--	--	--	1,48
13	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,23	--	1,63	--
14	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,19	--	1,78	--
15	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	1,90	--	--
16	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	1,64	--	--
17	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,94
18	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	2,05
19	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,23	--	1,63	--
20	SLER - [2]	--	2,40	--	2,86	--
21	SLEF - [2]	--	2,80	--	3,06	--
22	SLEQ - [2]	--	2,98	--	3,24	--
23	SLER - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,49	--	2,09	--
24	SLER - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,55	--	2,24	--
25	SLEF - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,69	--	2,28	--
26	SLEF - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,74	--	2,43	--
27	SLEQ - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,99	--	2,54	--
28	SLEQ - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,94	--	2,64	--

Tutti i valori dei coefficienti di sicurezza sono maggiori di quelli minimi della normativa.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

12.9.2 STATI LIMITE ULTIMI E SLV

Inviluppo sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,16	1,5691	2,0398	0,0000	0,0165	0,0000	0,2089
3	0,32	3,1382	4,0796	0,0000	0,0677	0,0000	0,4345
4	0,48	4,7073	6,1194	0,0000	0,1564	0,0000	0,6768
5	0,64	6,2764	8,1593	0,0000	0,2852	0,0000	0,9358
6	0,80	7,8454	10,1991	0,0000	0,4568	0,0000	1,2116
7	0,96	9,4145	12,2389	0,0000	0,6738	0,0000	1,5040
8	1,12	10,9836	14,2787	0,0000	0,9389	0,0000	1,8131
9	1,28	12,5527	16,3185	0,0000	1,2549	0,0000	2,1390
10	1,44	14,1218	18,3583	0,0000	1,6243	0,0000	2,4816
11	1,60	15,6909	20,3982	0,0000	2,0499	0,0000	2,8408
12	1,76	17,2600	22,4380	0,0000	2,5343	0,0000	3,2168
13	1,92	18,8291	24,4778	0,0037	3,0830	0,0918	4,3515
14	2,08	20,3982	26,5176	0,0466	3,7261	0,4998	6,4555
15	2,24	21,9672	28,5574	0,1810	4,5063	1,2341	9,0528
16	2,40	23,5363	30,5972	0,4592	5,4665	2,3014	12,1397
17	2,56	25,1054	32,6371	0,9378	7,1264	3,7527	15,7134
18	2,72	26,6745	34,6769	1,6843	9,9588	5,6581	19,7717
19	2,88	28,2436	36,7167	2,7737	13,4791	8,0376	24,3129
20	3,04	29,8127	38,7565	4,2816	17,7646	10,8912	29,3357
21	3,20	31,3818	40,7963	6,2831	22,8911	14,1953	34,8146

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

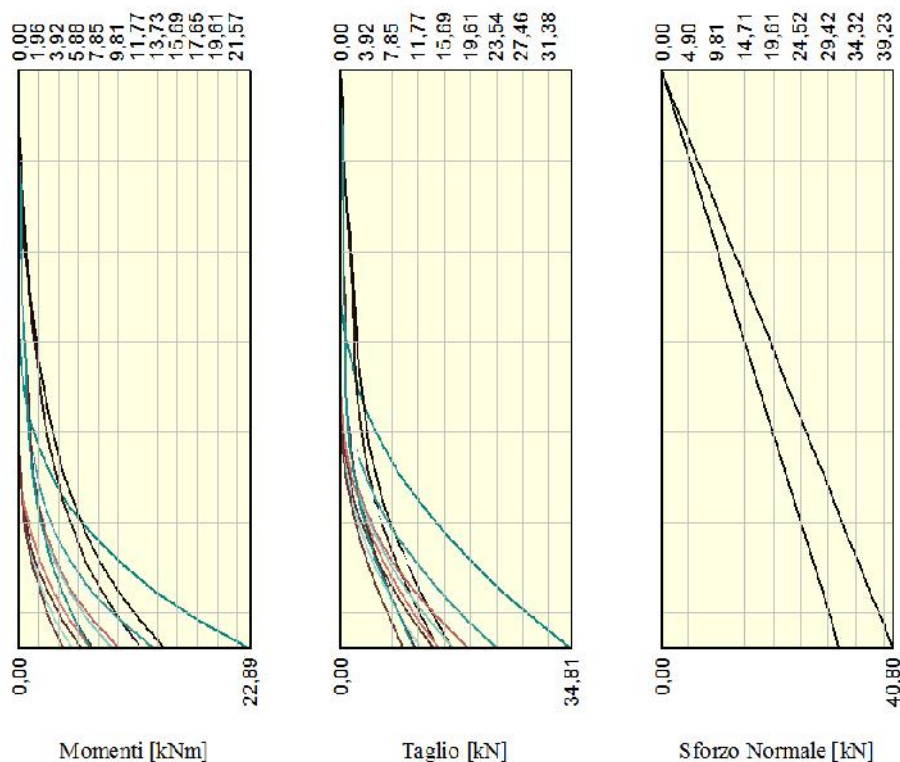
Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	-1,1532	-0,2367	-15,0725	-3,0709
3	0,30	-4,4306	-0,8957	-28,3215	-5,6307
4	0,45	-9,5585	-1,9003	-39,7469	-7,6792
5	0,60	-16,1135	-3,1739	-46,3487	-9,2165
6	0,75	-23,3344	-4,6397	-49,6271	-10,2427
7	0,90	-30,9104	-6,2212	-51,0818	-10,7576
8	1,05	-38,5678	-7,8415	-50,7131	-10,7614
9	1,20	-46,0331	-9,4240	-49,2784	-9,4963
10	1,35	-53,0329	-10,8921	-46,6080	-7,1322
11	1,50	-59,2934	-12,1690	-42,3920	-3,9789

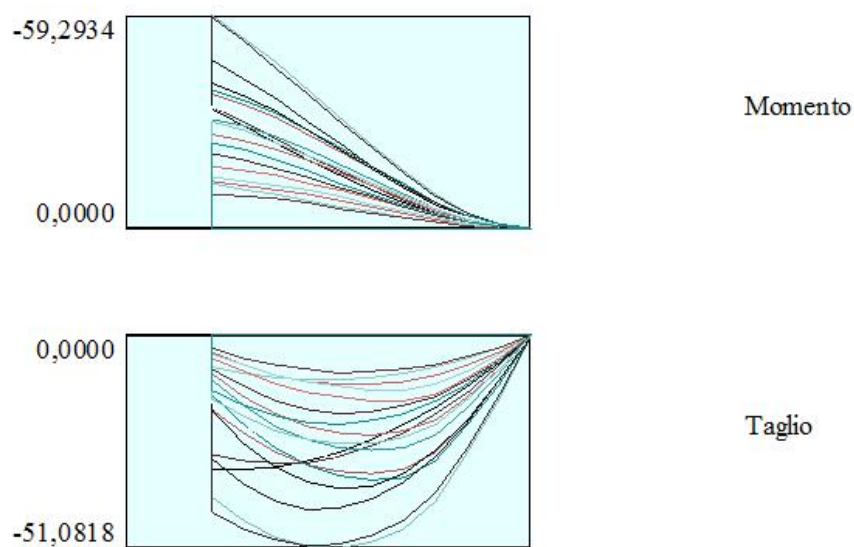
PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Muro verticale - Diagramma di involucro del momento flettente, taglio e sforzo normale negli SLU e SLV



Soletta di fondazione - Diagramma di involucro del momento flettente e taglio negli SLU e SLV

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro verticale

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M _u	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
V _{Rcd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
V _{Rsd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
V _{Rd}	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100, 40	12,57	12,57	0,00	0,00	1000,00	169,68	--	--
2	0,16	100, 40	12,57	12,57	6884,05	0,00	3433,44	169,89	--	--
3	0,32	100, 40	12,57	12,57	6762,40	0,00	1716,72	170,10	--	--
4	0,48	100, 40	12,57	12,57	6639,07	0,00	1144,48	170,30	--	--
5	0,64	100, 40	12,57	12,57	6448,50	0,00	858,36	170,51	--	--
6	0,80	100, 40	12,57	12,57	5972,19	0,00	686,69	170,71	--	--
7	0,96	100, 40	12,57	12,57	5498,14	0,00	572,24	170,92	--	--
8	1,12	100, 40	12,57	12,57	5036,37	0,00	458,53	171,13	--	--
9	1,28	100, 40	12,57	12,57	4597,24	0,00	366,24	171,33	--	--
10	1,44	100, 40	12,57	12,57	4189,73	0,00	296,69	171,54	--	--
11	1,60	100, 40	12,57	12,57	3815,49	0,00	243,17	171,74	--	--
12	1,76	100, 40	12,57	12,57	3449,82	0,00	199,87	171,95	--	--
13	1,92	100, 40	12,57	12,57	3069,67	-1,05	163,03	172,16	--	--
14	2,08	100, 40	12,57	12,57	2652,61	-12,28	130,04	172,36	--	--
15	2,24	100, 40	12,57	12,57	2223,17	-43,93	101,20	172,57	--	--
16	2,40	100, 40	25,13	25,13	2743,05	-116,72	116,55	216,88	--	--
17	2,56	100, 40	12,57	12,57	1229,06	-192,12	48,96	172,98	--	--
18	2,72	100, 40	12,57	12,57	750,26	-280,10	28,13	173,19	--	--
19	2,88	100, 40	12,57	12,57	508,93	-242,89	18,02	173,39	--	--
20	3,04	100, 40	12,57	12,57	372,23	-221,80	12,49	173,60	--	--
21	3,20	100, 40	12,57	12,57	285,80	-208,47	9,11	173,80	--	--

Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	100, 40	12,57	12,57	0,00	0,00	1000,00	169,68	--	--
2	0,15	100, 40	12,57	12,57	0,00	-164,40	142,55	169,68	--	--
3	0,30	100, 40	12,57	12,57	0,00	-164,40	37,10	169,68	--	--
4	0,45	100, 40	12,57	12,57	0,00	-164,40	17,20	169,68	--	--
5	0,60	100, 40	12,57	12,57	0,00	-164,40	10,20	169,68	--	--

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

6	0,75	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	7,05	169,68	--	--
7	0,90	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	5,32	169,68	--	--
8	1,05	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	4,26	169,68	--	--
9	1,20	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	3,57	169,68	--	--
10	1,35	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	3,10	169,68	--	--
11	1,50	100,40	12,57	12,57	0,00	-164,40	2,77	169,68	--	--

12.9.3 STATI LIMITE DI ESERCIZIO E SLO

La verifica negli stati limite di esercizio è soddisfatta per quanto riguarda le tensioni massime sia nel calcestruzzo che nell'acciaio.

Per quanto attiene alla fessurazione, le ampiezze calcolate sono inferiori e quelle stabilite dalla normativa.

La deformate massime congruenti con le prestazioni richieste dalla struttura in riferimento alle sue esigenze statiche e funzionali.

Inviluppo sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,16	1,5691	1,5691	0,0000	0,0067	0,0000	0,0834
3	0,32	3,1382	3,1382	0,0000	0,0267	0,0000	0,1675
4	0,48	4,7073	4,7073	0,0000	0,0603	0,0000	0,2521
5	0,64	6,2764	6,2764	0,0000	0,1074	0,0000	0,3374
6	0,80	7,8454	7,8454	0,0000	0,1683	0,0000	0,4232
7	0,96	9,4145	9,4145	0,0000	0,2429	0,0000	0,5097
8	1,12	10,9836	10,9836	0,0000	0,3314	0,0000	0,5967
9	1,28	12,5527	12,5527	0,0000	0,4339	0,0000	0,6844
10	1,44	14,1218	14,1218	0,0000	0,5504	0,0000	0,7726
11	1,60	15,6909	15,6909	0,0000	0,6812	0,0000	0,8615
12	1,76	17,2600	17,2600	0,0000	0,8261	0,0000	0,9510
13	1,92	18,8291	18,8291	0,0028	0,9883	0,0706	1,3238
14	2,08	20,3982	20,3982	0,0359	1,2586	0,3844	2,2463
15	2,24	21,9672	21,9672	0,1392	1,7280	0,9493	3,7100
16	2,40	23,5363	23,5363	0,3530	2,4744	1,7652	5,7101
17	2,56	25,1054	25,1054	0,7175	3,5836	2,8322	8,2432
18	2,72	26,6745	26,6745	1,2727	5,1405	4,1502	11,3063
19	2,88	28,2436	28,2436	2,0590	7,2298	5,7193	14,8975
20	3,04	29,8127	29,8127	3,1163	9,9358	7,5395	19,0152
21	3,20	31,3818	31,3818	4,4850	13,3408	9,6107	23,6143

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]
Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	-0,7266	-0,2287	-9,4725	-2,9525
3	0,30	-2,7771	-0,8566	-17,6526	-5,3213
4	0,45	-5,9578	-1,7959	-24,5405	-7,1064
5	0,60	-9,9747	-2,9593	-28,1361	-8,3077
6	0,75	-14,3090	-4,2591	-29,4393	-8,9253
7	0,90	-18,7418	-5,6077	-29,4503	-8,9593
8	1,05	-23,0794	-6,9177	-28,1690	-8,4095
9	1,20	-27,1279	-8,1014	-25,5953	-7,2760
10	1,35	-30,6934	-9,0713	-21,7294	-5,5587
11	1,50	-33,5821	-9,7398	-16,5712	-3,2578

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro verticale

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M _u	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRcd	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
VRsd	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	σ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0,00	100, 40	12,57	12,57	0	0	0	0
2	0,16	100, 40	12,57	12,57	4	0	-54	-56
3	0,32	100, 40	12,57	12,57	8	1	-108	-117
4	0,48	100, 40	12,57	12,57	13	1	-161	-183
5	0,64	100, 40	12,57	12,57	18	1	-215	-254
6	0,80	100, 40	12,57	12,57	23	1	-269	-330
7	0,96	100, 40	12,57	12,57	29	2	-323	-411
8	1,12	100, 40	12,57	12,57	36	2	-376	-497
9	1,28	100, 40	12,57	12,57	43	2	-430	-588
10	1,44	100, 40	12,57	12,57	50	3	-484	-684
11	1,60	100, 40	12,57	12,57	58	3	-538	-786
12	1,76	100, 40	12,57	12,57	66	3	-592	-892
13	1,92	100, 40	12,57	12,57	75	4	-644	-1005
14	2,08	100, 40	12,57	12,57	87	8	-686	-1157

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

15	2,24	100,40	12,57	12,57	106	12	-702	-1384
16	2,40	100,40	25,13	25,13	123	19	-630	-1561
17	2,56	100,40	12,57	12,57	200	28	1394	-2371
18	2,72	100,40	12,57	12,57	295	38	3901	-3242
19	2,88	100,40	12,57	12,57	426	50	8075	-4326
20	3,04	100,40	12,57	12,57	593	64	13995	-5625
21	3,20	100,40	12,57	12,57	800	79	21773	-7173

Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	Σ _c	Σ _c	Σ _{fi}	Σ _{fs}
12	0,00	100,40	12,57	12,57	0	0	0	0
13	0,15	100,40	12,57	12,57	43	-32	-287	1826
14	0,30	100,40	12,57	12,57	163	-59	-1097	6979
15	0,45	100,40	12,57	12,57	349	-82	-2354	14973
16	0,60	100,40	12,57	12,57	585	-95	-3941	25068
17	0,75	100,40	12,57	12,57	839	-99	-5654	35961
18	0,90	100,40	12,57	12,57	1099	-99	-7405	47101
19	1,05	100,40	12,57	12,57	1354	-95	-9119	58002
20	1,20	100,40	12,57	12,57	1591	-86	-10718	68177
21	1,35	100,40	12,57	12,57	1800	-73	-12127	77137
22	1,50	100,40	12,57	12,57	1970	-56	-13268	84397

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

13 RELAZIONE SUI MATERIALI E PIANO DI MANUTENZIONE STRUTTURALE DELL'OPERA

13.1 PREMESSA

Il seguente elaborato descrive le modalità da seguire per la corretta gestione delle opere previste nel presente progetto.

In particolare, il piano costituisce lo strumento per garantire il corretto funzionamento delle opere stesse durante la loro vita.

Esso contiene: il **manuale d'uso**, il **manuale di manutenzione** e il **programma di manutenzione** delle varie parti costituenti l'opera in progetto.

Lo scopo del presente atto, secondo quanto riportato **D.P.R. 554/99** e nel paragrafo **10.1 del DM 17.01.2018**, ha lo scopo di prevedere, pianificare e programmare l'attività di manutenzione sulle opere in progetto, al fine di mantenere nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico dell'opera realizzata.

13.2 MANUALE D'USO

Lo scopo del manuale d'uso è quello di descrivere tutte le informazioni necessarie all'utente per conoscere le modalità di fruizione e per la gestione corretta dell'opera in modo da evitarne il degrado anticipato ed un'utilizzazione impropria.

Verranno di seguito passate in rassegna le varie parti costituenti le opere in progetto descrivendone l'ubicazione, le caratteristiche dei singoli manufatti e dei materiali costituenti. Come descritto nella relazione di calcolo, l'opera da realizzarsi è così composta:

13.2.1 Descrizione delle opere

Le opere strutturali in progetto sono:

- la **chiavica di invaso**, posta nel vertice Sud-Ovest dell'area della cassa di espansione,
- la **chiavica di svaso**, posta nel vertice Nord-Ovest dell'area della cassa di espansione,
- il **manufatto di tombamento** a valle della chiavica di svaso,
- la **vasca di scarico** posta a monte dell'attraversamento esistente sotto alla ferrovia Reggio Guastalla.

Per una dettagliata descrizione si rimanda ai precedenti paragrafi.

Per raggiungere le strutture occorre percorrere la strada provinciale n.42 che da Novellara porta a Guastalla. In corrispondenza di Strada della Vittoria in comune di Novellara, si gira verso Sud.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

La cassa di espansione si sviluppa ad Ovest di Strada della Vittoria per circa 1.300 m ed è compresa a Nord dalla predetta S.P. e dalla ferrovia, ad Ovest dal Cavo Bondeno e a Sud dal Canale Allacciante Cartoccio.

13.2.2 Caratteristiche dei materiali strutturali

- CALCESTRUZZO

Chiavica o manufatto di invaso, chiavica di svaso e scatolare di scarico cassa

CALCESTRUZZO	Classe di resistenza	Classe di esposizione	Diametro massimo inerte	Classe di consistenza
Soletta superiore o traverso	C32/40	XF3	20 mm	S4
Muri verticali e soletta di fondazione	C32/40	XC4	20 mm	S4

Muri della vasca di scarico

CALCESTRUZZO	Classe di resistenza	Classe di esposizione	Diametro massimo inerte	Classe di consistenza
Muri verticali e soletta di fondazione	C32/40	XC4	20 mm	S4

- ACCIAIO PER C.A.: tipo B450C

Il copriferro nominale è di 5 cm definito come *la distanza fra la superficie esterna dell'armatura più vicina alla superficie del calcestruzzo e la superficie stessa del calcestruzzo.*

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

13.3 MANUALE DI MANUTENZIONE

Il manuale di manutenzione dell'opera riporta, con riferimento alle caratteristiche dei materiali, e componenti interessati, le indicazioni circa le modalità corrette per l'effettuazione degli interventi manutentivi specifici per l'opera realizzata.

Riportiamo qui di seguito le indicazioni di carattere generale relative agli interventi più comuni.

13.3.1 Manutenzione civile

Nella voce manutenzione civile si intendono le opere di manutenzione sulle parti strutturali dell'opera. Occorrerà controllare la stabilità del manufatto e l'assenza di cedimenti differenziali che possano comprometterne la stabilità.

Pertanto, l'attenzione dovrà essere rivolta al controllo di eventuali crepe o fessurazioni nelle pareti e nelle solette e cedimenti delle strutture indicatori dello stato di degrado e di perdita di stabilità.

Per cedimenti, o crepe e fessurazioni devono effettuarsi manutenzioni edili provvisorie (riempimenti, sostegni, sigillature) e mantenere sotto osservazione l'opera per intervenire con interventi di vera e propria sostituzione della parte ammalorata non appena lo stato dovesse degenerare.

13.4 PROGRAMMA DI MANUTENZIONE

Il Programma di Manutenzione prevede una serie di controlli e di interventi finalizzati alla corretta gestione dell'opera realizzata, che devono essere eseguiti a determinate scadenze.

Il Programma di Manutenzione è articolato secondo tre sottoprogrammi:

- **il Sottoprogramma delle Prestazioni:** vengono indicate le caratteristiche prestazionali ottimali ed il loro eventuale decremento accettabile nel corso della vita utile del bene;
- **il Sottoprogramma dei Controlli:** viene indicata la programmazione delle verifiche e dei controlli da effettuarsi per rilevare, durante gli anni, la rispondenza delle opere eseguite alle prestazioni previste; l'obiettivo è quello di avere un'indicazione precisa della dinamica di caduta di efficienza del bene, avendo come riferimenti il livello di funzionamento ottimale e quello minimo accettabile;
- **il Sottoprogramma degli Interventi di Manutenzione:** riporta gli interventi da effettuare, l'indicazione delle scadenze temporali alle quali devono essere effettuati e le eventuali informazioni per una corretta conservazione del bene.

13.4.1 Sottoprogramma delle prestazioni

Tale sezione del programma di manutenzione comprende tutti i riferimenti progettuali e il loro monitoraggio nel tempo finalizzati ad avere riscontri circa le eventuali modifiche introdotte e i limiti fino ai quali tali modifiche possono essere spinte.

Le prestazioni dell'opera progettata devono essere assicurate e mantenute nel tempo. Qualora alcuna di esse non venisse rispettata, occorrerà individuarne la causa mediante verifiche e controlli ed agire per porvi rimedio mediante le manutenzioni che si rendessero necessarie.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Le prestazioni da garantire da parte delle strutture sono:

- sostegno del terreno laterale in condizioni sismiche e non,
- sostegno dei carichi stradali per ponti di seconda categoria,
- sostegno della falda freatica,
- sostegno della presenza d'acqua sulla fondazione.

13.4.2 Sottoprogramma dei controlli

Tale sezione prevede, per ogni opera in progetto quanti e quali controlli sono necessari, quali sono le operazioni da svolgersi ed i mezzi da utilizzare.

Le operazioni di controllo previste sono:

- controllo della parte strutturale delle parti di struttura e ed individuazione di eventuali lesioni o deformazioni dovute a cedimenti totali o differenziali della sezione geometrica originaria.

Ogni operazione effettuata all'interno ed all'esterno dell'opera deve essere svolta nel rigoroso rispetto delle fondamentali norme atte a tutelare l'incolumità degli operatori; per questo dovranno essere adottate tutte le precauzioni idonee ad evitare incidenti.

Ovviamente il personale dovrà essere in possesso della dotazione personale di sicurezza e di pronto soccorso, come previsto dalle vigenti norme in materia.

Si riporta di seguito la frequenza minima di verifiche per ogni tipo di operazione.

Tipologia di intervento	Frequenza ispezioni espressa in giorni
Controllo parte strutturale del manufatto in c.a.	<ul style="list-style-type: none">- Ogni 365 giorni,- Dopo ogni utilizzo della cassa,- Dopo ogni evento di piena eccezionale

I valori forniti di frequenza di ispezione e controllo sono indicativi e possono essere modificati in base alla lunga esperienza del personale del Consorzio ed all'invecchiamento progressivo delle opere.

13.5 SOTTOPROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Tale sezione prevede la descrizione di quanti e quali interventi manutentivi sono necessari.

L'intervento di manutenzione classico che può essere necessario è quello della manutenzione edile dell'opera in c.a. mediante l'eliminazione di fessurazioni, sigillature di giunti, getti di consolidamento ect..