

## AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA

Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma

**MO-E-1357 – ADEGUAMENTO DEI MANUFATTI DI REGOLAZIONE E SFIORO DELLA CASSA DI ESPANSIONE DEL FIUME SECCHIA COMPRESIVO DELLA PREDISPOSIZIONE DELLA POSSIBILITÀ DI REGOLAZIONE IN SITUAZIONI EMERGENZIALI ANCHE PER PIENE ORDINARIE IN RELAZIONE ALLA CAPACITÀ DI DEFLUSSO DEL TRATTO ARGINATO (EX CODICE 10969) E AVVIO DELL'ADEGUAMENTO IN QUOTA E POTENZIAMENTO STRUTTURALE DEI RILEVATI ARGINALI DEL SISTEMA CASSA ESPANSIONE ESISTENTE**

**MO-E-1273 – LAVORI DI AMPLIAMENTO E ADEGUAMENTO DELLA CASSA DI ESPANSIONE DEL FIUME SECCHIA NEL COMUNE DI RUBIERA (RE)  
(ACCORDO DI PROGRAMMA MINISTERO – RER – PARTE A)**

### PROGETTO DEFINITIVO

## R.09 – RELAZIONE SULLE STRUTTURE

#### IL RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:

CAPOGRUPPO MANDATARIA  
PROGETTAZIONE GENERALE – INGEGNERIA IDRAULICA E STRUTTURALE



**DIZETA INGEGNERIA**  
STUDIO ASSOCIATO  
Via Bassoli, 19 – 20133 MILANO Tel. 02-70600125  
server@dezetaingegneria.it Fax 02-70600014

ING. FULVIO BERNABEI  
ING. STEFANO ADAMI  
ING. LAURA GRILLI  
ING. GIANLUIGI SEVNI  
ING. PAOLO SANAVIA

MANDANTE  
RAPPORTI CON ENTI TERZI – MODELLISTICA IDROLOGICA E  
IDRAULICA – IDROGEOLOGIA



ING. DENIS CERLINI  
ING. MARCO BELICCHI  
ING. NICOLA PESSARELLI (CSP)  
ING. MICHELE FERRARI

MANDANTE  
INGEGNERIA STRUTTURALE



ING. MARCO G. P. BRAGHINI  
ING. DANIELE L. GIOMETTI

MANDANTE  
GEOLOGIA



**EN GEO** S.r.l.  
ENGINEERING GEOLOGY  
www.engeo.it

GEOLOG. CARLO CALEFFI  
GEOLOG. FRANCESCO CERUTTI

MANDANTE  
ASPETTI AMBIENTALI



ING. MASSIMO SARTORELLI  
ING. BENIAMINO BARENGHI  
DOTT. AGR. ALESSIA MANICONE  
DOTT.SSA CHIARA LUVIE\*

MANDANTE  
ASPETTI PAESAGGISTICI



ARCH. ANGELO DAL SASSO

#### PER IL R.T.P.:

IL PROGETTISTA GENERALE  
DOTT. ING. FULVIO BERNABEI

#### IL RUP:

DOTT. ING.  
FEDERICA PELLEGRINI

CONSULENTE  
INGEGNERIA GEOTECNICA



PROF. ING. FRANCESCO COLLESELLI  
ING. GIUSEPPE COLLESELLI

CONSULENTE  
PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO

GEOM. MARCO SOZZE'

CONSULENTE  
VALUTAZIONI ARCHEOLOGICHE

DOTT.SSA IVANA VENTURINI

DATA: LUGLIO 2019

Mod.7.3 F – Rev.01

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	CONTR.	APPR.
01	AGOSTO 2021	INTEGRAZIONI ART.18 L.R. 4/2018			

## INDICE

<b>1</b>	<b>Premesse</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Normativa di riferimento</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Modellazione in SAP2000</b>	<b>13</b>
3.1	Sintesi funzionalità generali	13
3.2	Sistemi di riferimento globale	15
3.3	Sistemi di riferimento locale per elementi Frame (travi, pilastri)	16
3.4	Sistemi di riferimento locale per elementi Shell (solette, pareti, platee)	18
3.5	Casi di carico	21
3.6	Casi di analisi in condizioni statiche	22
3.7	Casi di analisi in condizioni dinamiche	23
<b>4</b>	<b>Scelta del copriferro</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Sbarramento esistente</b>	<b>27</b>
5.1	Descrizione delle opere	27
5.2	Disegni di riferimento	28
5.3	Caratteristiche dei materiali strutturali	30
5.3.1	<i>Calcestruzzo costituente lo sbarramento esistente</i>	30
5.3.2	<i>Calcestruzzo strutturale di classe C25/30</i>	33
5.3.3	<i>Acciaio per cemento armato tipo B450C</i>	35
5.4	Situazioni progettuali	36
5.5	Valutazione dell'azione sismica	38
5.6	Definizione dei carichi e delle loro combinazioni	42
5.7	Modellazione e risultati dell'analisi	48
5.7.1	<i>Risultati SLU</i>	50

<b>5.7.2 Risultati SLE</b>	<b>53</b>
<b>5.8 Verifiche effettuate</b>	<b>56</b>
<b>5.8.1 Dimensionamento delle pile</b>	<b>57</b>
<b>6 Muro arginale</b>	<b>60</b>
<b>6.1 Descrizione delle opere</b>	<b>60</b>
<b>6.2 Disegni di riferimento</b>	<b>61</b>
<b>6.3 Caratteristiche dei materiali strutturali</b>	<b>63</b>
<b>6.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30</b>	<b>63</b>
<b>6.3.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C</b>	<b>65</b>
<b>6.4 Valutazione dell'azione sismica</b>	<b>66</b>
<b>6.5 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni</b>	<b>69</b>
<b>6.6 Modellazione e risultati dell'analisi</b>	<b>71</b>
<b>6.6.1 Risultati SLU</b>	<b>72</b>
<b>6.6.2 Risultati SLE</b>	<b>73</b>
<b>6.7 Verifiche effettuate</b>	<b>74</b>
<b>6.7.1 Muro - Chiamate</b>	<b>75</b>
<b>6.7.2 Muro – Armatura verticale</b>	<b>81</b>
<b>6.7.3 Platea – Armatura trasversale</b>	<b>87</b>
<b>6.7.4 Diaframmi</b>	<b>94</b>
<b>7 Manufatto regolatore</b>	<b>96</b>
<b>7.1 Descrizione delle opere</b>	<b>96</b>
<b>7.2 Disegni di riferimento</b>	<b>100</b>
<b>7.3 Caratteristiche dei materiali strutturali</b>	<b>102</b>
<b>7.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C20/25</b>	<b>102</b>
<b>7.3.2 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30</b>	<b>104</b>
<b>7.3.3 Acciaio per cemento armato tipo B450C</b>	<b>106</b>
<b>7.4 Situazioni progettuali</b>	<b>107</b>

<b>7.5</b>	<b>Valutazione dell'azione sismica</b>	<b>110</b>
<b>7.6</b>	<b>Definizione dei carichi e delle loro combinazioni</b>	<b>114</b>
<b>7.7</b>	<b>Modellazione e risultati dell'analisi</b>	<b>120</b>
<b>7.7.1</b>	<b><i>Risultati SLU</i></b>	<b>122</b>
<b>7.7.2</b>	<b><i>Risultati SLE</i></b>	<b>125</b>
<b>7.8</b>	<b>Verifiche effettuate</b>	<b>128</b>
<b>7.8.1</b>	<b><i>Lato lungo – tratto a valle del giunto</i></b>	<b>130</b>
7.8.1.1	Muro – Sez. 1 (M-)	131
7.8.1.2	Muro – Sez. 1 (M+)	137
7.8.1.3	Muro – Sez. 2 (M-)	142
7.8.1.4	Muro – Sez. 2 (M+)	148
7.8.1.5	Platea – Sez. 1 (M-)	153
7.8.1.6	Platea – Sez. 1 (M+)	160
7.8.1.7	Platea – Sez. 2 (M-)	162
7.8.1.8	Platea – Sez. 2 (M+)	168
<b>7.8.2</b>	<b><i>Lato lungo – tratto a monte del giunto</i></b>	<b>170</b>
7.8.2.1	Muro – Sez. 1 (M-)	172
7.8.2.2	Muro – Sez. 1 (M+)	179
7.8.2.3	Muro – Sez. 2 (M-)	184
7.8.2.4	Muro – Sez. 2 (M+)	191
7.8.2.5	Platea – Sez. 1 (M-)	196
7.8.2.6	Platea – Sez. 1 (M+)	203
7.8.2.7	Platea – Sez. 2 (M-)	205
7.8.2.8	Platea – Sez. 2 (M+)	212
<b>7.8.3</b>	<b><i>Lato corto</i></b>	<b>214</b>
7.8.3.1	Muro – Sez. 1 (M-)	216
7.8.3.2	Muro – Sez. 1 (M+)	223



7.8.3.3	Muro – Sez. 2 (M-)	228
7.8.3.4	Muro – Sez. 2 (M+)	234
7.8.3.5	Platea – Sez. 1 (M-)	239
7.8.3.6	Platea – Sez. 1 (M+)	245
7.8.3.7	Platea – Sez. 2 (M-)	247
7.8.3.8	Platea – Sez. 2 (M+)	252
<b>7.8.4</b>	<b>Pile</b>	<b>255</b>
7.8.4.1	Pile B=3.00 m – Sez. 1	256
7.8.4.2	Pile B=3.00 m – Sez. 4	264
7.8.4.3	Pile B=6.00 m – Sez. 1	272
7.8.4.4	Pile B=6.00 m – Sez. 4	280
<b>7.8.5</b>	<b>Travi di contrasto</b>	<b>288</b>
<b>7.8.6</b>	<b>Diaframmi</b>	<b>295</b>
<b>8</b>	<b>Manufatto di derivazione laterale</b>	<b>296</b>
8.1	Descrizione delle opere	296
8.2	Disegni di riferimento	299
8.3	Caratteristiche dei materiali strutturali	300
8.3.1	Calcestruzzo strutturale di classe C20/25	300
8.3.2	Calcestruzzo strutturale di classe C25/30	302
8.3.3	Acciaio per cemento armato tipo B450C	304
8.4	Situazioni progettuali	305
8.5	Valutazione dell'azione sismica	308
8.6	Definizione dei carichi e delle loro combinazioni	312
8.7	Modellazione e risultati dell'analisi	316
8.7.1	Muro di sponda - monte	318
8.7.1.1	Risultati SLU	318
8.7.1.2	Risultati SLE	321

<b>8.7.2 Muro di sponda - valle</b>	<b>323</b>
8.7.2.1 Risultati SLU	323
8.7.2.2 Risultati SLE	325
<b>8.7.3 Setti</b>	<b>327</b>
8.7.3.1 Risultati SLU	327
8.7.3.2 Risultati SLE	329
<b>8.7.4 Soletta carrabile</b>	<b>331</b>
8.7.4.1 Risultati SLU	331
8.7.4.2 Risultati SLE	333
<b>8.7.5 Trave frontale TF</b>	<b>335</b>
8.7.5.1 Risultati SLU	335
8.7.5.2 Risultati SLE	337
<b>8.8 Verifiche effettuate</b>	<b>339</b>
<b>8.8.1 Muro di sponda - monte</b>	<b>340</b>
<b>8.8.2 Muro di sponda – valle</b>	<b>358</b>
<b>8.8.3 Setti</b>	<b>376</b>
<b>8.8.4 Soletta carrabile</b>	<b>395</b>
<b>8.8.5 Trave frontale TF</b>	<b>407</b>
<b>9 Predimensionamento del ponte di servizio</b>	<b>419</b>
9.1 Descrizione delle opere	419
9.2 Disegni di riferimento	420
9.3 Caratteristiche dei materiali strutturali	422
9.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30	422
9.3.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C	424
9.4 Valutazione dell'azione sismica	425
9.5 Definizione dei carichi	426
9.6 Dimensionamento della soletta	428

<b>9.6.1 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni</b>	<b>428</b>
<b>9.6.2 Modellazione e risultati dell'analisi</b>	<b>429</b>
9.6.2.1 Risultati SLU	430
9.6.2.2 Risultati SLE	431
<b>9.6.3 Verifiche effettuate</b>	<b>431</b>
<b>9.7 Selezione dei sistemi di appoggio travi</b>	<b>438</b>
<b>9.7.1 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni</b>	<b>438</b>
<b>9.7.2 Trave UH80P</b>	<b>440</b>
9.7.2.1 Calcolo della forza verticale di progetto	440
9.7.2.2 Calcolo della forza orizzontale di progetto	442
9.7.2.3 Tipologia di appoggio selezionata	442
<b>9.7.3 Trave VH80P</b>	<b>444</b>
9.7.3.1 Calcolo della forza verticale di progetto	444
9.7.3.2 Calcolo della forza orizzontale di progetto	446
9.7.3.3 Tipologia di appoggio selezionata	446
<b>10 Edificio servizi</b>	<b>448</b>
<b>10.1 Descrizione delle opere</b>	<b>448</b>
<b>10.2 Disegni di riferimento</b>	<b>448</b>
<b>10.3 Caratteristiche dei materiali impiegati</b>	<b>450</b>
<b>10.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30</b>	<b>450</b>
<b>10.3.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C</b>	<b>452</b>
<b>10.4 Valutazione dell'azione sismica</b>	<b>453</b>
<b>10.5 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni</b>	<b>453</b>
<b>10.6 Modellazione e risultati dell'analisi</b>	<b>455</b>
<b>10.6.1 Risultati SLU</b>	<b>456</b>

<b>10.6.2 Risultati SLE</b>	<b>457</b>
<b>10.7 Verifiche effettuate</b>	<b>457</b>
<b>10.7.1 Pareti</b>	<b>458</b>
<b>10.7.2 Soletta</b>	<b>464</b>
<b>11 Dimensionamento paratoie</b>	<b>470</b>
<b>11.1 Manufatto di sbarramento e regolazione</b>	<b>472</b>
<b>11.1.1 Caratteristiche tecniche</b>	<b>472</b>
<b>11.1.2 Materiali</b>	<b>474</b>
<b>11.1.3 Verifica della struttura principale</b>	<b>476</b>
11.1.3.1 Verifica delle travi intermedie	478
11.1.3.2 Verifica della trave di soglia	480
11.1.3.3 Verifica dei pannelli	482
<b>11.1.4 Verifica delle ruote e delle rotaie</b>	<b>483</b>
11.1.4.1 Pressione hertziana	483
11.1.4.2 Verifica dei perni	484
11.1.4.3 Pressione specifica sulla boccola	484
11.1.4.4 Verifica delle rotaie	485
<b>11.1.5 Forze di manovra</b>	<b>486</b>
<b>11.1.6 Trave di supporto del cilindro</b>	<b>490</b>
<b>11.1.7 Deformabilità del diaframma</b>	<b>491</b>
<b>11.2 Manufatto di derivazione nell'invaso laterale</b>	<b>493</b>
<b>11.2.1 Caratteristiche tecniche</b>	<b>493</b>
<b>11.2.2 Materiali</b>	<b>495</b>
<b>11.2.3 Verifica della struttura principale</b>	<b>497</b>
11.2.3.1 Verifica delle travi intermedie	500
11.2.3.2 Verifica della trave di soglia	502
11.2.3.3 Verifica dei pannelli	504

<b>11.2.4</b>	<b>Verifica delle ruote e delle rotaie</b>	<b>505</b>
11.2.4.1	Pressione hertziana	505
11.2.4.2	Verifica dei perni	506
11.2.4.3	Pressione specifica sulla boccola	506
11.2.4.4	Verifica delle rotaie	507
<b>11.2.5</b>	<b>Forze di manovra</b>	<b>508</b>
<b>11.2.6</b>	<b>Trave di supporto del cilindro</b>	<b>512</b>
<b>11.2.7</b>	<b>Deformabilità del diaframma</b>	<b>513</b>

## 1 Premesse

La presente relazione, integrata a seguito delle osservazioni in sede di V.I.A. (art.18 L.R. 4/2018) riporta le analisi e le verifiche strutturali atte al dimensionamento dei manufatti in calcestruzzo (armato e non) e delle strutture metalliche previsti nell'ambito dei seguenti progetti:

- (MO-E-1273) Lavori di ampliamento della cassa di laminazione del fiume Secchia, comune di Rubiera (RE) (accordo di programma ministero – per – parte A) CUP: B98G11000320001;
- (MO-E-1357) Interventi di adeguamento del sistema di laminazione delle piene della cassa di espansione del fiume secchia (provincia di Modena) (ordinanza 1/2018 del 07.11.2018) CUP: B94H1600069002.

Il presente documento costituisce anche documento tecnico allegato alla richiesta di Autorizzazione Sismica, ai sensi ex l.r.19/2008 art.10, comma 3 e DGR 1373/2011, punto A.1-

Nello specifico, nel Capitolo 2 è chiarita quale sia la normativa sulla cui base sono state effettuate le verifiche. Riferimenti dettagliati a paragrafi e tabelle in normativa sono precisati puntualmente ove ritenuto opportuno negli altri capitoli.

Il Capitolo 3 riporta le specifiche inerenti il software SAP2000 utilizzato ai fini della pre-analisi strutturale per generare modelli tridimensionale delle opere.

Nel Capitolo 4 sono esposte le considerazioni effettuate a monte della scelta del copriferro (per elementi armati).

Ciascuno dei capitoli dal 5 all'8 è dedicato ad un manufatto specifico e riporta:

- la descrizione dettagliata dell'opera e degli elementi strutturali che la costituiscono;
- l'elenco di tutti gli elaborati grafici in cui è rappresentata l'opera in esame;
- la caratterizzazione meccanica dei materiali di cui si costituiscono gli elementi strutturali;
- la valutazione dell'azione sismica;
- la definizione dei carichi e delle loro combinazioni;
- la modellazione e i risultati dell'analisi;
- le verifiche effettuate.



Data la complessità delle strutture oggetto di studio, esse sono state analizzate, già in questa fase, attraverso modellazioni tridimensionali agli elementi finiti, in quanto si ritiene che non esistano schemi di calcolo semplificati in grado di rappresentarne adeguatamente il comportamento strutturale senza che questa approssimazione vada ad incidere per eccesso sul dimensionamento o sulle geometrie dei manufatti. L'impiego di schemi eccessivamente semplici, benché facilmente controllabili, porterebbe infatti a trascurare componenti importanti del comportamento strutturale, e restituirebbe quindi sollecitazioni maggiori di quelle attese per strutture con un comportamento sostanzialmente "a scatola".

Il Capitolo 9 riporta le procedure effettuate per il predimensionamento del ponte di servizio previsto in progetto in corrispondenza del manufatto regolatore e dello sbarramento esistente, ovvero il dimensionamento della soletta e la selezione dei sistemi di appoggio delle travi da ponte.

Il Capitolo 10 riporta le verifiche svolte per l'edificio servizi previsto in progetto in corrispondenza del manufatto regolatore.

Nel Capitolo 11 sono riportate le procedure per il dimensionamento delle paratoie.

## 2 Normativa di riferimento

Il dimensionamento e la verifica delle strutture sono stati condotti in conformità alla normativa nazionale vigente, ed in particolare, nel rispetto delle disposizioni dei seguenti testi:

- Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018 (di seguito “NTC 2018”);
- Circolare esplicativa 11/02/2019 contenente le Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” (di seguito “Circolare”);
- D. Min. Infrastrutture e Trasp. 26/06/2014 – Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) (di seguito D.M. 26/06/2014);
- Circolare della Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche 3 luglio 2019, n.16790 – “Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie – Istruzioni per l’applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC18)”;
- Circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri n° DSTN/2/7311 (di seguito CPM DSTN/2/7311);
- Norma UNI EN 206-1:2006 “Linee guida sul calcestruzzo strutturale”;
- Norma UNI EN 1992-1-1:2015 “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole per gli edifici” (di seguito “EC2”);
- Norma UNI 11104:2016 “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produttività e conformità – Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206”.
- Allegati A e B al D.M. 14/02/2008 (di seguito “All. A e B NTC 2008”);
- DIN 19704 – Hydraulic steel structures – Part. 1: Criteria for design and calculation;

NOTA:

Le traverse fluviali con funzione di regolazione possono essere assimilate a dighe, applicando di conseguenza la medesima normativa di riferimento valida per queste ultime; nella fattispecie le verifiche sono state condotte in accordo alle indicazioni del DM 26.06.2014, oltre che a quelle delle NTC 2018.

La circolare PCM DSTN/2/7311 chiarisce come non siano dighe, invece, le opere di sfioro delle casse di espansione in derivazione *“intese come aree opportunamente arginate per consentire l’accumulo temporaneo di acqua in occasione di eventi di piena mediante sfioro di una soglia libera o regolabile inserita in un tratto di sponda del corso d’acqua, oppure mediante altri sistemi quali sifoni auto innescanti o tratti di argine fusibili”*, giacché non si tratta di opere che sbarrano un corso d’acqua e ne intercettano i deflussi.

Tuttavia per semplicità e cautela anche le verifiche del manufatto di derivazione laterale sono state condotte adottando i medesimi criteri normativi di verifica delle dighe, come per il manufatto regolatore.

## 3 Modellazione in SAP2000

### 3.1 Sintesi funzionalità generali

I primi software della serie SAP per l'analisi di strutture con il metodo agli elementi finiti hanno fatto la loro comparsa sul finire degli anni cinquanta sviluppati da un gruppo dell'università di Berkeley specializzato nelle strutture tipo civile e capeggiato dai professori Wilson e Bathe.

SAP2000 è un codice che permette di risolvere strutture spaziali con il metodo delle deformazioni.

In questa analisi si suppone che la struttura sia composta da elementi semplici compresi tra nodi. Ogni elemento può essere soggetto a spostamenti longitudinali, trasversali e rotazionali. A tali spostamenti corrispondono forze e momenti necessari per mantenere la struttura in tale condizione.

Tale metodo può essere applicato a strutture composte da ogni tipo di elemento e non è limitativo quanto a forma o particolari materiali. Non è necessario che le caratteristiche degli elementi restino costanti tra i nodi.

La modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Frame (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette).

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in una apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software.

L'utente esegue delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il programma è dotato di un manuale tecnico ed operativo. L'assistenza è effettuata direttamente dalla casa produttrice, mediante linea telefonica o e-mail.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

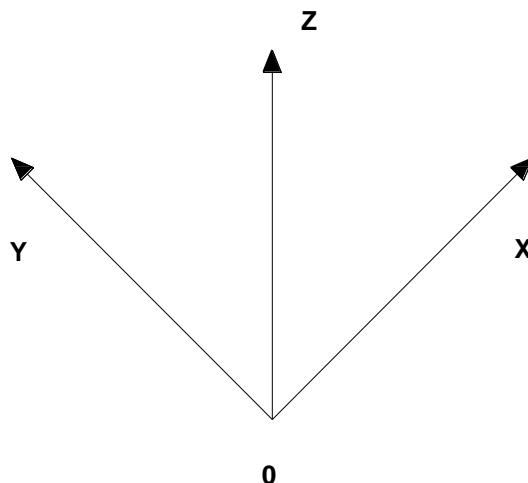
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse.

## 3.2 Sistemi di riferimento globale

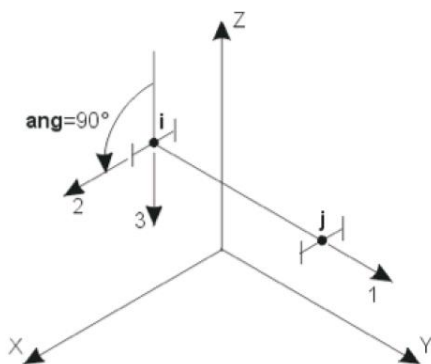
Il sistema di riferimento globale è costituito da un sistema a tre coordinate cartesiane destrorso. I tre assi del sistema sono denominati X, Y, Z e sono tra loro perpendicolari. SAP2000 considera sempre come +Z l'asse verticale ascendente. Per default, la gravità è diretta secondo la direzione Z.



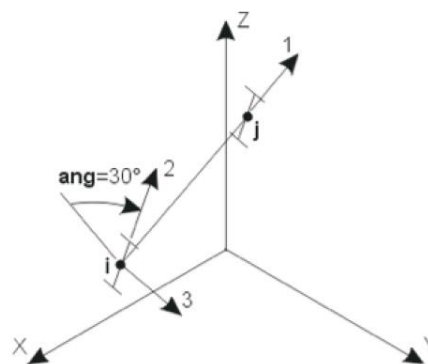


### 3.3 Sistemi di riferimento locale per elementi Frame (travi, pilastri)

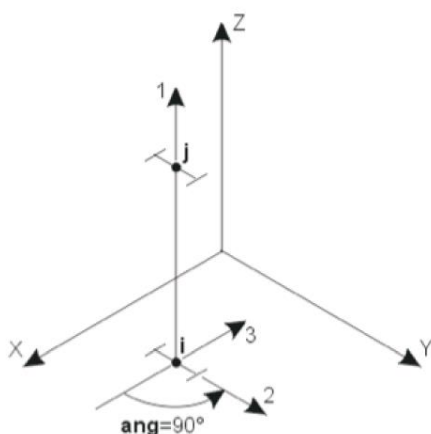
Ciascun elemento frame ha il proprio sistema di coordinate locale, con assi denominati 1, 2, 3. L'asse locale 1 è sempre l'asse longitudinale dell'elemento con la direzione positiva diretta dall'estremo I all'estremo J. Le direzioni 2 e 3 sono parallele agli assi neutri della sezione. Di solito la direzione 2 è presa lungo la direzione maggiore (altezza) della sezione, mentre la direzione 3 lungo la sua dimensione minore (larghezza).



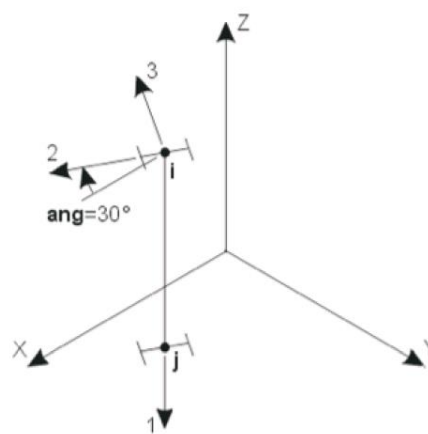
L'asse locale 1 è parallelo all'asse +Y  
L'asse locale 2 è ruotato di 90° dal piano Z-1



L'asse locale 1 non è parallelo agli assi X, Y o Z  
L'asse locale 2 è ruotato di 30° dal piano Z-1



L'asse locale 1 è parallelo all'asse +Z  
L'asse locale 2 è ruotato di 90° dal piano X-1



L'asse locale 1 è parallelo all'asse -Z  
L'asse locale 2 è ruotato di 30° dal piano X-1

Le sollecitazioni verranno fornite in attinenza a tale sistema di riferimento:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

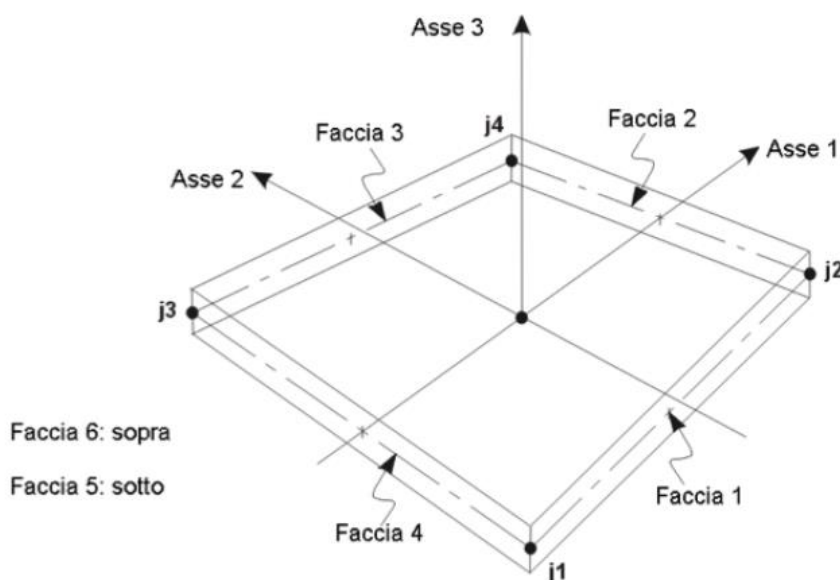
---



- P, la forza assiale,
- V2, la forza di taglio nel piano 1-2
- V3, la forza di taglio nel piano 1-3
- T, momento torcente
- M2, il momento flettente nel piano 1-3 (intorno all'asse 2)
- M3, il momento flettente nel piano 1-2 (intorno all'asse 3)

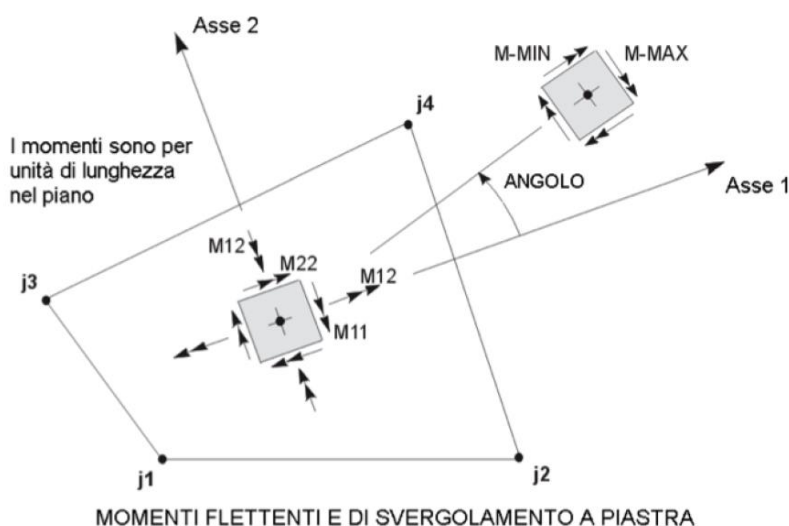
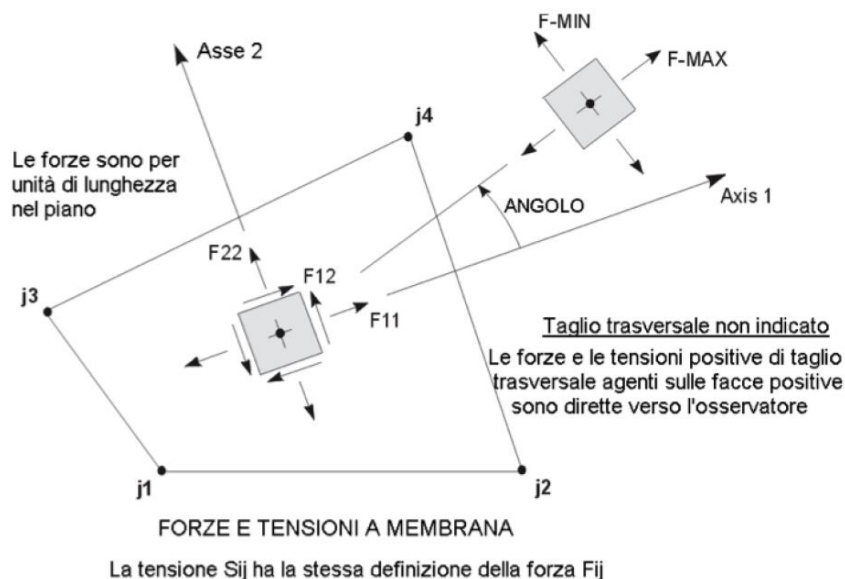
### 3.4 Sistemi di riferimento locale per elementi Shell (solette, pareti, platee)

L'elemento Shell ha una formulazione a tre o quattro nodi che combina il comportamento separato a membrana e quello a piastra flettente. Il comportamento a membrana usa una formulazione isoparametrica che comprende le componenti di rigidità traslazionali nel piano e una componente di rigidità rotazionale nella direzione normale al piano dell'elemento. Il comportamento a piastra flettente comprende due componenti di rigidità rotazionali della piastra, fuori dal piano e una componente di rigidità traslazionale nella direzione normale al piano dell'elemento. Per default viene utilizzata una formulazione a piastra spessa che comprende gli effetti della deformazione di taglio trasversale.



Elemento Shell quadrilatero a quattro nodi

Ciascun elemento Shell ha un proprio sistema di coordinate locale usato per definire le proprietà del materiale, i carichi e l'output. Gli assi di questo sistema locale sono indicati con i numeri 1, 2, 3. I primi due assi giacciono nel piano dell'elemento con orientamento specificato dall'utente; il terzo asse è normale.



Le sollecitazioni verranno fornite in attinenza a tale sistema di riferimento:

- Tensioni assiali nel piano:  $S_{11}$  e  $S_{22}$
- Tensione di taglio nel piano:  $S_{12}$
- Tensioni di taglio trasversali:  $S_{13}$  e  $S_{23}$
- Tensione assiale normale al piano:  $S_{33}$  (considerata sempre nulla)

Le tre tensioni nel piano sono assunte costanti o variabili linearmente entro lo spessore dell'elemento. Le due tensioni di taglio trasversali sono considerate costanti lungo lo spessore. La vera distribuzione della tensione di taglio è parabolica, con valore nullo

sulle superficie in alto e in basso e con valore massimo o minimo alla superficie mediana dell'elemento.

Le forze interne dell'elemento Shell, chiamate anche risultanti delle tensioni, sono le forze ed i momenti che risultano dall'integrazione delle tensioni sullo spessore dell'elemento:

- Forze membranali assiali: F11 e F22
- Forza membranale di taglio: F12
- Momenti flettenti a piastra: M11 e M22
- Momento di svergolamento a piastra: M12
- Forze di taglio trasversali a piastra: V13 e V23

E' molto importante notare che queste risultanti della tensione sono forze e momenti per unità di lunghezza nel piano. Sono presenti in ciascun punto sulla superficie mediana dell'elemento.

### 3.5 Casi di carico

I carichi (Loads) rappresentano le azioni agenti sulla struttura, come forze, pressioni, cedimenti vincolari, effetti termici, accelerazione al terreno e altro. Una distribuzione spaziale di questi carichi è chiamata condizione di carico (Load Case).

Una condizione di carico rappresenta, in definitiva, un carico elementare; di seguito riportiamo i tipi previsti:

- DEAD: carico permanente (G1)
- SUPER DEAD: carico permanente (G2)
- LIVE, REDUCED LIVE: carichi accidentali (Q)
- QUAKE: azioni sismiche (E)
- WIND: azioni dovute al vento (Q)
- SNOW: carico neve (Q)
- WAVE: carichi determinati da onde di pressione (Q)
- OTHER: altri tipi di carico



### 3.6 Casi di analisi in condizioni statiche

Per l'analisi strutturale, volta alla valutazione degli effetti delle azioni, si possono adottare i seguenti metodi:

- a) Analisi elastica lineare;
- b) Analisi plastica;
- c) Analisi non lineare.

#### Analisi elastica lineare

Per la determinazione degli effetti delle azioni, sia per lo stato limite ultimo che di esercizio, le analisi sono effettuate assumendo:

- sezioni interamente reagenti con rigidzze valutate riferendosi al solo cls;
- relazioni tensioni deformazione lineare;
- valori medi del modulo di elasticità.

#### Analisi plastica

Al materiale si attribuisce un diagramma delle tensioni-deformazioni rigido-plastico verificando che la duttilità delle sezioni dove si localizzano le plasticizzazioni sia sufficiente a garantire la formazione del meccanismo di collasso previsto.

Nell'analisi si trascurano gli effetti di precedenti applicazioni del carico e si assume un incremento monotono dell'intensità delle azioni e la costanza del rapporto tra le loro intensità così da pervenire ad un unico moltiplicatore di collasso.

#### Analisi non lineare

Al materiale si attribuisce un diagramma tensioni-deformazioni che ne rappresenti adeguatamente il comportamento reale, verificando che le sezioni dove si localizzano le plasticizzazioni siano in grado di sopportare allo stato limite ultimo tutte le deformazioni non elastiche derivanti dall'analisi, tenendo in appropriata considerazione le incertezze.

Nell'analisi si trascurano gli effetti di precedenti applicazioni del carico e si assume un incremento monotono dell'intensità delle azioni e la costanza del rapporto tra le loro intensità.

Le analisi effettuate per le verifiche strutturali delle opere in esame sono di tipo elastico lineare.

### 3.7 Casi di analisi in condizioni dinamiche

L'analisi delle strutture soggette ad azione sismica può essere di tipo lineare o non lineare, in relazione alla modellazione del comportamento del materiale.

Inoltre, in funzione del fatto che l'equilibrio sia tratto staticamente o dinamicamente, i metodi di analisi si distinguono ulteriormente in statici o dinamici.

#### **Analisi statica equivalente (analisi lineare statica)**

L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specificati nel Cap. 7.3.3.2 delle NTC 2018, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame ( $T_1$ ) non superi  $2.5T_c$  o  $T_D$  e che la costruzione sia regolare in altezza.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  (calcolato in base alla formula 7.3.5, NTC 2018), e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame.

#### **Analisi dinamica modale (analisi lineare dinamica)**

Il programma effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta. Il sistema da analizzare può essere visto come un oscillatore con  $n$  gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale  $Z$  è unitario. L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà

perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti. Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. E' prevista una specifica fase di stampa per tali risultati. L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate.

## 4 Scelta del copriferro

In accordo con la normativa, il copriferro da utilizzare nei calcoli strutturali e da riportare negli elaborati grafici si definisce come copriferro nominale  $c_{NOM}$  ed è definito come segue [EC2].

$$c_{NOM} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

dove:

- $c_{min}$  è il valore del copriferro minimo;
- $\Delta c_{dev}$  è la tolleranza di esecuzione relativa al copriferro.

Lo spessore minimo del copriferro è il valore massimo tra quelli minimi imposti per soddisfare le esigenze di durabilità e di aderenza.

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} = 30 \text{ mm}$$

(35 mm nel caso in cui non sia previsto un controllo di qualità speciale della produzione)

dove:

- $c_{min,b}$  è il copriferro minimo necessario per l'aderenza delle armature ed è pari al diametro della barra, ovvero max 30 mm nei casi in analisi;
- $c_{min,dur}$  è il copriferro minimo necessario per la durabilità dell'opera, pari a 35 mm (ma con un controllo di qualità speciale della produzione può essere ridotto a 30 mm) considerando la classe di esposizione (XC2) e la vita nominale dei manufatti, che per grandi dighe rilevanti è pari a 100 anni in accordo con la normativa [D.M. 26/06/2014, Tab. C.2];
- $\Delta c_{dur,\gamma}$  è il valore aggiuntivo del copriferro legato alla sicurezza (nel draft dell'appendice nazionale dell'Italia si consiglia di porre tale valore pari a zero);
- $\Delta c_{dur,st}$  è la riduzione del copriferro quando si utilizza acciaio inossidabile (nel draft dell'appendice nazionale dell'Italia si consiglia di porre tale valore pari a zero);
- $\Delta c_{dur,add}$  è la riduzione del copriferro minimo quando si ricorre a protezioni aggiuntive (nel draft dell'appendice nazionale dell'Italia si consiglia di porre tale valore pari a zero).

Il draft dell'Appendice nazionale Italiana per la norma UNI EN 1992-1-1 consiglia di fissare la tolleranza  $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ , dunque:

$$\Delta c_{dev} = \begin{cases} 30 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 40 \text{ mm} & (\text{con controllo produzione}) \\ 35 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 45 \text{ mm} & (\text{senza controllo produzione}) \end{cases}$$

Tuttavia, qualora si prevedano controlli di qualità dei copriferri in cantiere  $\Delta c_{dev} = 5 \div 10 \text{ mm}$  e nel caso in cui tali controlli siano estremamente efficienti  $\Delta c_{dev} = 0 \div 10 \text{ mm}$ . Pertanto  $c_{NOM} = 30 \div 45 \text{ mm}$  in base ai controlli che si prevedono.

Nella fattispecie il valore selezionato per il copriferro nominale è  $c_{NOM} = 30 \text{ mm}$  per gli elementi in c.a. caratterizzati da un ridotto spessore, quali ad esempio gli edifici servizi e le solette e le travi delle passerelle; per i manufatti di elevate dimensioni, quali ad esempio il manufatto regolatore, lo sbarramento esistente e i principali elementi strutturali del manufatto di derivazione laterale, il copriferro è stato posto pari a 5 cm.

## 5 Sbarramento esistente

### 5.1 Descrizione delle opere

L'intervento riguarderà la parziale demolizione della sezione centrale della traversa esistente comprendente due delle 4 luci di fondo esistenti. La porzione di manufatto esistente "scapitozzata" fino a quota 39.75 m s.l.m. per un tratto di lunghezza di 44.60 m andrà a costituire la soglia della sezione terminale della vasca di dissipazione del nuovo corpo di regolazione dello sbarramento.

Le due luci di fondo laterali al di fuori del tratto interessato dalla parziale demolizione verranno chiuse tramite panconi metallici estraibili. La soglia sfiorante nei tratti laterali non interessati dalla demolizione rimarrà funzionale alla quota attuale pari a 46.25 m slm, per uno sviluppo complessivo di 96 metri.

Si prevede la realizzazione del ponte di servizio che si svilupperà sopra le soglie sfioranti del manufatto unendo di fatto sponda destra e sinistra del Secchia. Le pile a sostegno dell'impalcato si innesteranno sul corpo traversa esistente.

L'impalcato carrabile sarà composto da una soletta in c.a. di spessore 20 cm pavimentata con pacchetto stradale così composto: strato di 7 cm di binder compatto più 3 cm di tappeto di usura; la pavimentazione è contenuta entro cordoli lato strada di altezza 20 cm su cui verrà installato il guard-rail classe H2 bordo ponte. La larghezza corrente lorda dell'impalcato sarà pari a 6.40 metri.

La quota piano strada del ponte di servizio sarà pari a 52,70 m slm e la quota intradosso sarà pari a 51.60 m slm. L'impalcato verrà realizzato con travi prefabbricate precomprese, appoggiate su pulvini, sorretti da pile di sostegno delle dimensioni 3.0 x 1.0 metri, collocate ad interasse di 23.50 m.



## 5.2 Disegni di riferimento

Gli elaborati grafici relativi alle opere in analisi sono elencati nella tabella seguente.

<b>Codice tavola</b>	<b>Titolo tavola</b>	<b>Scala</b>
Tav. A.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Planimetria di progetto	1:500
Tav. A.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Stato di fatto e demolizioni (pianta e sezioni)	1:200
Tav. A.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 56.20 m s.l.m. (Copertura)	1:200
Tav. A.4.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da A-A a C-C	1:200
Tav. A.4.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da D-A a H-H	1:200
Tav. A.5.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 52.60 m s.l.m. (Impalcato ponte di servizio)	1:200
Tav. A.5.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 50.30 m s.l.m. (scarico di superficie)	1:200
Tav. A.5.3.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 46.75 m s.l.m. (Muri manufatto di regolazione)	1:200
Tav. A.5.3.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri del manufatto di sbarramento e regolazione	indicata
Tav. A.5.3.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri di sponda, viste e sezioni	1:100
Tav. A.5.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 38.00 m s.l.m. (Piano fondazione)	1:200

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione dell'invaso: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200
Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200
Tav. A.7	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione dell'invaso: Interventi sul manufatto esistente: collegamenti con strutture in progetto ed interventi sulle luci esistenti	1:100
Tav. A.11.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: manufatto esistente e muri arginali	indicata

## 5.3 Caratteristiche dei materiali strutturali

### 5.3.1 Calcestruzzo costituente lo sbarramento esistente

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo costituente lo sbarramento esistente sono state investigate mediante prove di laboratorio effettuate su materiale prelevato in sito tramite carotaggio.; i risultati sono riportati di seguito.

PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO									
Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			Massa volumica	Carico di Rottura	f <sub>ck</sub>	R <sub>c1</sub>	CO <sub>2</sub>
		Diametro	Lunghezza	λ = L / D					
		[mm]	[mm]						
C1 - 1,20/1,29 m	C1	87	89	1,02	2221	90,80	15,3	15,4	21
C2-A - 0,27/0,36 m	C2	87	86	0,99	2259	83,70	14,1	14,0	T=11; F=56
C2-B - 3,04/3,13 m	C3	87	87	1,00	2214	69,60	11,7	11,7	T=11; F=56
C3 - 0,30/0,89 m	C4	87	86	0,99	2269	140,30	23,6	23,5	17
C4-A - 0,30/0,39 m	C5	87	84	0,97	2283	95,70	16,1	15,9	T=52; F=36
C4-B - 0,60/0,69 m	C6	87	87	1,00	2233	95,30	16,0	16,0	T=52; F=36
C5 - 0,30/0,39 m	C7	87	85	0,98	2296	108,50	18,3	18,1	13
C7 - 0,33/0,42 m	C8	87	86	0,99	2259	79,40	13,4	13,3	12
C8-A - 0,57/0,66 m	C9	87	87	1,00	2224	90,20	15,2	15,2	T=24; F=36
C8-B - 0,11/0,20 m	C10	87	84	0,97	2293	112,50	18,9	18,7	T=24; F=36

PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA SU PROVINI DI CALCESTRUZZO							
UNI EN 12390-6:2010							
progressivo prova	ID	Dimensioni Provino			Massa volumica	Carico di Rottura	f <sub>ct</sub>
		Diametro	Lunghezza	λ = L / D			
		[mm]	[mm]				
C1 - 1,40/1,49 m	C1	87	92	1,06	2223	32,63	2,60
C2-A - 0,36/0,45 m	C2-A	87	92	1,06	2251	36,88	2,93
C2-B - 3,13/3,22 m	C2-B	87	92	1,06	2238	35,94	2,86
C3 - 0,39/0,48 m	C3	87	89	1,02	2217	41,13	3,38
C4-A - 0,39/0,48 m	C4-A	87	86	0,99	2277	35,51	3,02
C4-B - 0,69/0,78 m	C4-B	87	88	1,01	2189	36,59	3,04
C5 - 0,39/0,48 m	C5	87	88	1,01	2292	35,44	2,95
C7 - 0,42/0,49 m	C7	87	87	1,00	2231	29,80	2,51
C8-A 0,66/0,75 m	C8-A	87	91	1,05	2233	34,21	2,75
C8-B - 0,20/0,29 m	C8-B	87	87	1,00	2280	38,39	3,23

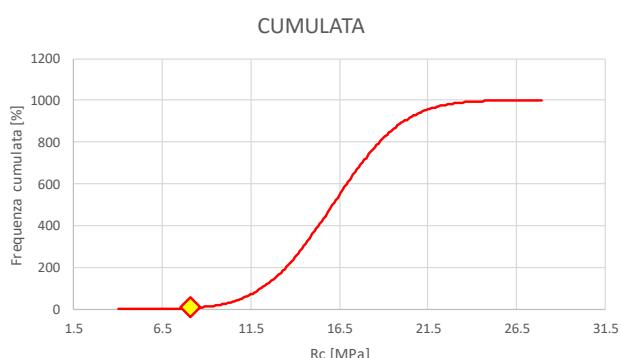
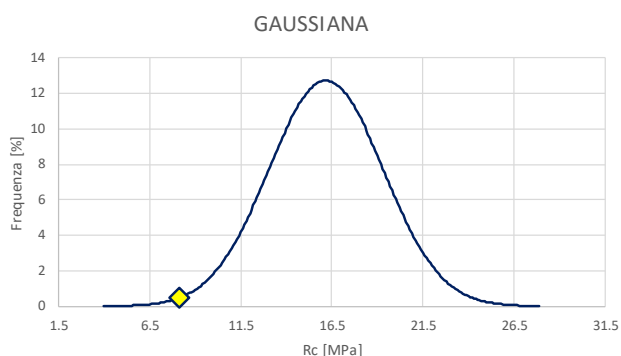
I valori caratteristici della resistenza a compressione su cubi ( $R_{ck}$ ) e della resistenza a trazione ( $f_{ctk}$ ) sono stati calcolati previo tracciamento delle distribuzioni gaussiane, considerando che corrispondono al frattile 5%. Si riportano di seguito estratti dei fogli di calcolo.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

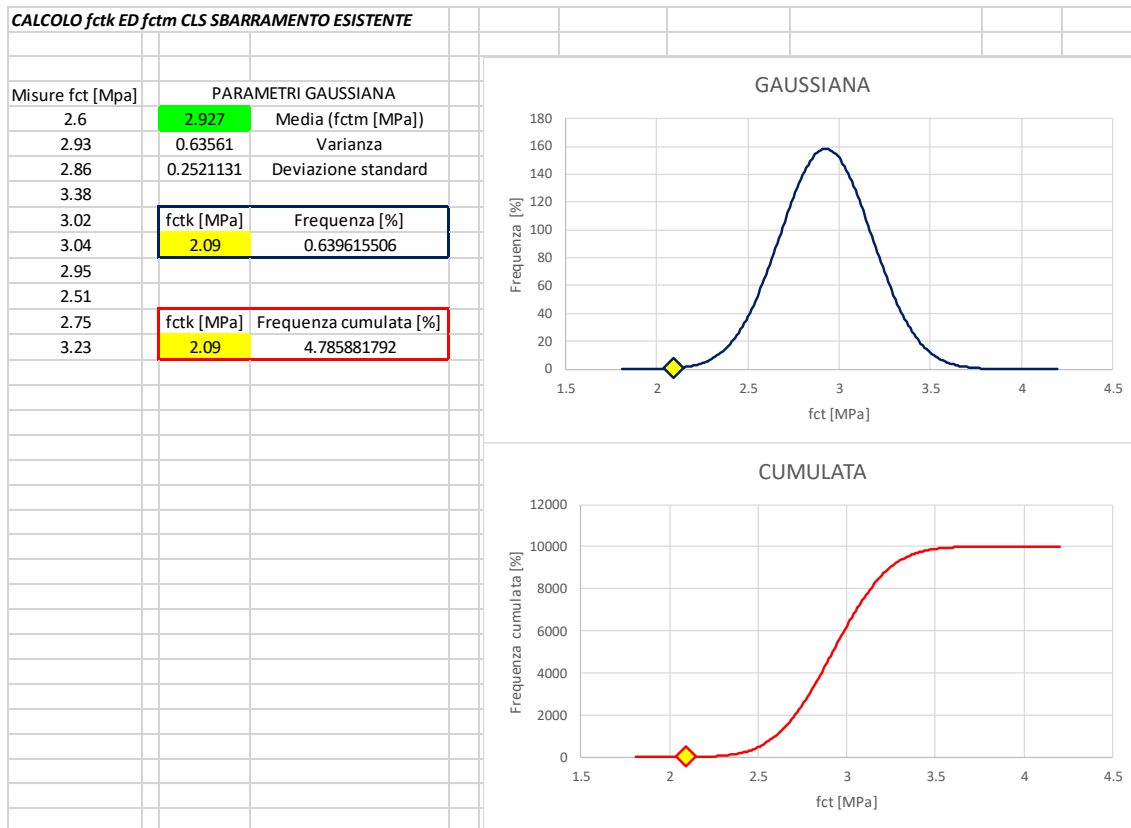
**CALCOLO Rck CLS SBARRAMENTO ESISTENTE**

Misure Rc [Mpa]	PARAMETRI GAUSSIANA	
15.4	16.18	Media
14	98.416	Varianza
11.7	3.137132	Deviazione standard
23.5		
15.9	Rck [MPa]	Frequenza [%]
16	8.1	0.46119398
18.1		
13.3		
15.2	Rck [MPa]	Frequenza cumulata [%]
18.7	8.1	5.18869183



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 7 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 15 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 4 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.5 \text{ MPa}$$

### 5.3.2 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo (da armare) impiegato per la realizzazione delle pile dell'impalcato in progetto è pari a 30 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 2 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 14 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.2 \text{ MPa}$$

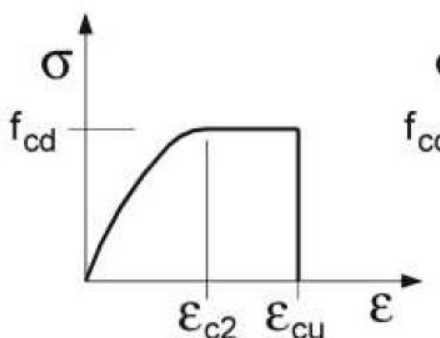
Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 31500 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



I valori assunti per  $\epsilon_{c2}$  ed  $\epsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20% e 0.35%.

### 5.3.3 Acciaio per cemento armato tipo B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento  $f_{y,nom}$  e della tensione a carico massimo  $f_{t,nom}$  da utilizzare nei calcoli [NTC 2018 – Par. 11.3.2.1]:

$$f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

Tra i requisiti richiesti da normativa [NTC 2018 – Tab. 11.3.Ib] sono specificati i due vincoli seguenti in merito ai valori caratteristici delle tensioni.

$$f_{y,k} \geq f_{y,nom}$$

$$f_{t,k} \geq f_{t,nom}$$

Pertanto i valori considerati per le tensioni caratteristiche sono i seguenti:

$$f_{y,k} = f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

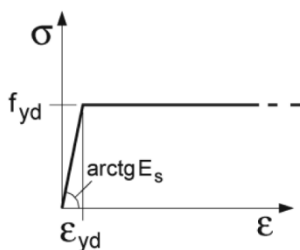
$$f_{t,k} = f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto dell'acciaio  $f_{y,d}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore si ottiene come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2]:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cong 391.3 \text{ MPa}$$

essendo  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Il diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.2]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di elastico perfettamente plastico.





## 5.4 Situazioni progettuali

La normativa [NTD14 – Par. C.8] prevede l'analisi delle seguenti situazioni:

1. In fase costruttiva
2. A termine costruzione e a serbatoio vuoto
3. A serbatoio pieno con il livello alla massima regolazione e, quando significativo, anche a livelli intermedi
4. A serbatoio pieno con il livello al massimo invaso
5. A seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello di massima regolazione al livello di minimo invaso e quando si significativo, anche a livelli intermedi;
6. In presenza di sisma, con il livello alla quota massima di regolazione e, quando sia significativo, anche a livelli intermedi, nonché a serbatoio vuoto.

Per il caso in esame, si sono analizzate le seguenti condizioni:

2. A termine costruzione e a serbatoio vuoto:

Si è analizzata la situazione di invaso sperimentale, con livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

3. A serbatoio pieno con il livello alla massima regolazione e, quando significativo, anche a livelli intermedi:

Nella configurazione di massima regolazione (con bocche aperte) il livello dell'acqua è pari a 46.25 m s.l.m. a monte dello sbarramento e a 44.06 m s.l.m. a valle; tale situazione è quindi sicuramente meno critica rispetto alla configurazione di invaso sperimentale.

Per portate inferiori a  $750 \text{ m}^3/\text{s}$ , tutta la portata defluisce attraverso le bocche con tiranti inferiori ed è quindi meno critica.

Al raggiungimento di  $Q=750 \text{ m}^3/\text{s}$ , le 6 bocche vengono chiuse e si raggiunge un livello a monte dello sbarramento pari a 48.75 m s.l.m. e a un livello a valle di 42.95 m s.l.m. (configurazione  $750 \text{ m}^3/\text{s}$  e bocche chiuse).

Per portate superiori, la differenza di carico tra monte e valle va diminuendo, per cui tali situazioni non sono state analizzate (ad eccezione di quelle relative alla piena duecentennale e millenaria)

4. A serbatoio pieno con il livello al massimo invaso

Per la piena millenaria (massimo invaso) si è assunto un livello di 50.24 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 45.25 a valle.

Per la piena duecentennale si è assunto un livello di 49.83 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 44.53 a valle.

6. In presenza di sisma, con il livello alla quota massima di regolazione e, quando sia significativo, anche a livelli intermedi, nonché a serbatoio vuoto:

Poiché, come visto, la configurazione di massima regolazione risulta meno critica rispetto a quella di invaso sperimentale, le analisi sismiche (SLD e SLC) sono state svolte considerando un livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

Sono state invece omesse le verifiche nelle seguenti situazioni:

1. In fase costruttiva:

Non significativa per il manufatto in esame in quanto la condizione peggiore di fatto coincide con quella di massima regolazione

5. A seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello di massima regolazione al livello di minimo invaso e quando sia significativo, anche a livelli intermedi:

la procedura di vuotatura di fatto rispecchia quella di riempimento, per cui non si è ritenuto necessario effettuare ulteriori analisi in aggiunta a quelle effettuate per i punti 3. e 4.

## 5.5 Valutazione dell'azione sismica

La valutazione degli effetti riconducibili al sisma è stata condotta mediante un'analisi lineare statica [NTC2018 – Par. 7.3.3.2], cioè in sostanza il sisma è stato rappresentato applicando forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  e la forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7]$$

dove:

$F_h$  =  $S_d(T_1) W \lambda / g$

$F_i$  è la forza da applicare alla massa i-esima;

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j;

$z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j;

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

$W$  è il peso complessivo della costruzione;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se  $T_1 < 2T_C$  e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Il periodo fondamentale di vibrazione della struttura è stato individuato attraverso l'analisi modale svolta con il software SAP2000, ed è pari a  $T_1 = 0.023$  s per il corpo principale dello sbarramento (traversa esistente, con soglia di sfioro a quota 46.25 m s.l.m.) e a  $T_1 = 0.178$  s per la parte soprastante (pile e impalcato di nuova realizzazione).

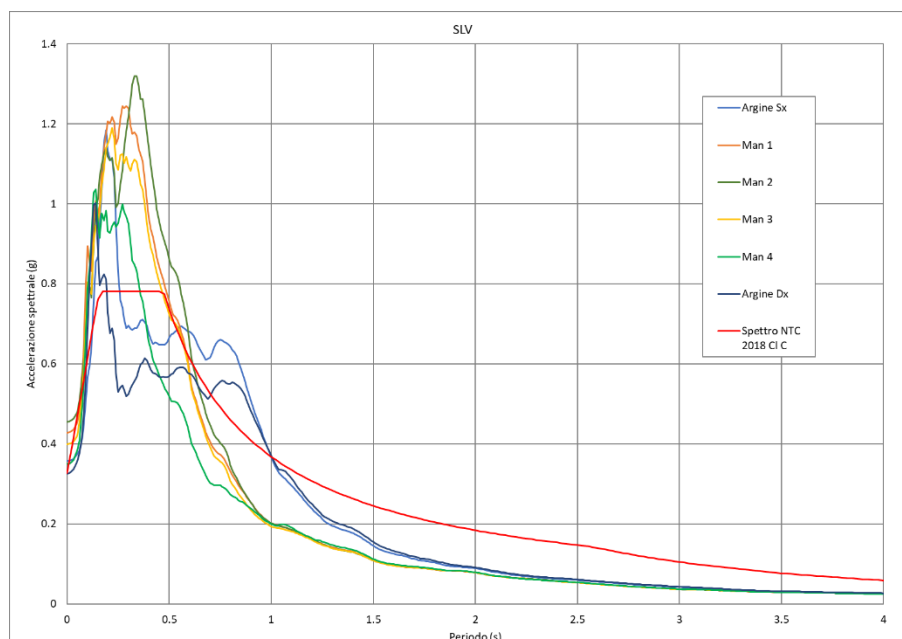
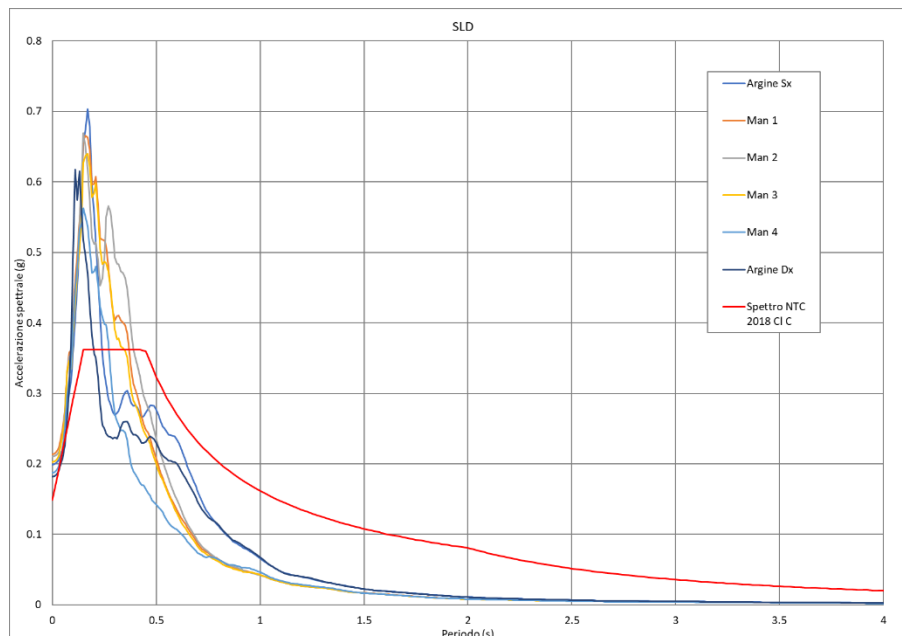
In accordo con quanto previsto dalla normativa [NTD14 – Par. C.6 e Circolare 16790 – Cap. II], le verifiche sismiche sono state svolte per lo SLD e lo SLC, ovvero sono state omesse le verifiche allo SLO e allo SLV in quanto le prestazioni per detti stati limite sono garantite con livelli di azione sismica maggiore.

La risposta sismica è stata caratterizzata a livello locale tramite modellazione bidimensionale effettuata sulla base di una sezione litostratigrafica ricavata a partire da sondaggi effettuati in corrispondenza del manufatto regolatore (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*).

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

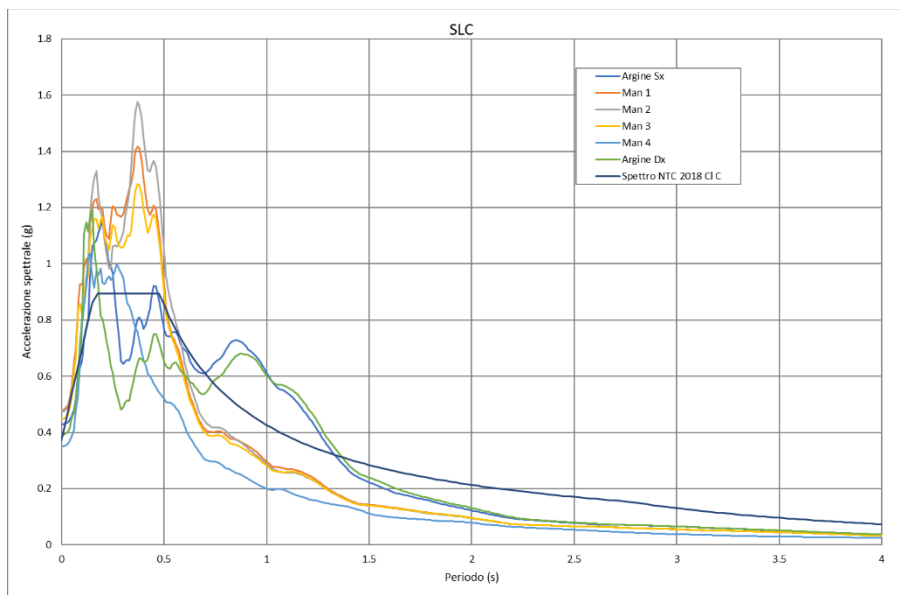
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Gli spettri elastici rappresentativi della risposta sismica locale sono mostrati nei seguenti grafici, in cui è riportato anche lo spettro definito da NTC.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



L'entità delle forze statiche equivalenti è stata calcolata come ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  per ciascuno degli spettri di risposta locale e per lo spettro fornito da normativa; il valore assunto per le verifiche è quello massimo tra la media dei valori delle RSL e il valore ottenuto da NTC, ed è evidenziato in giallo nelle tabelle seguenti.

Sbarramento esistente $T_1=0.023$ s		Se ( $T_1$ ) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.144	0.181	0.392	0.447
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.204	0.391	0.436

Impalcato $T_1=0.178$ s		Se ( $T_1$ ) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.289	0.361	0.783	0.893
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.580	1.040	1.099

Le azioni inerziali dell'acqua  $p$  sono definite come da normativa [D.M. 26/06/2014 – Par. C.7.7.3.].

$$p = a \cdot r \cdot c \cdot \gamma_0$$

dove:

- $a$  è il valore dell'accelerazione orizzontale massima al sito;
- $r$  è la massa per unità di volume dell'acqua;

- $y_0$  è la differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento.

- $$c = \frac{c_m}{2} \left[ \frac{y}{y_0} \cdot \left( 2 - \frac{y}{y_0} \right) + \sqrt{\frac{y}{y_0} \cdot \left( 2 - \frac{y}{y_0} \right)} \right]$$

essendo:

- $y$  è la differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione  $p$ ;
- $c_m = -0.0073 \cdot a + 0.7412$  in cui  $a$  è l'angolo di inclinazione del paramento rispetto alla verticale espresso in gradi sessagesimali.

## 5.6 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

Oltre al peso proprio dello sbarramento e degli elementi portanti dell'impalcato (automaticamente calcolato dal software SAP2000), sono stati considerati i seguenti carichi:

➤ **PESO PROPRIO DELLA SOLETTA IN C.A.**

Il peso della soletta è calcolato automaticamente dal software in quanto nella definizione della sezione delle travi si è considerata una sezione equivalente già comprensiva dello spessore della soletta.

➤ **PESO PROPRIO MANTO STRADALE**

E' stato considerato applicando ad ogni trave da ponte il carico uniformemente distribuito  $p_{manto\_stradale}$  definito come segue:

$$p_{manto\_stradale} = s \cdot B \cdot c \cong 3.7 \text{ kN/m}$$

dove:

- $s = 0.13 \text{ m}$  è lo spessore del manto stradale;
- $B = 2.2 \text{ m}$  è la larghezza della porzione di manto stradale pertinente a ciascuna trave;
- $c = 13 \text{ kN/m}^3$  è il peso per unità di volume del bitume.

➤ **PESO PROPRIO GUARDRAIL**

La presenza del guardrail è stata considerata applicando un carico uniformemente distribuito  $p_{guardrail} = 0.4 \text{ kN/m}$  (conservativo) lungo le travi esterne dell'impalcato.

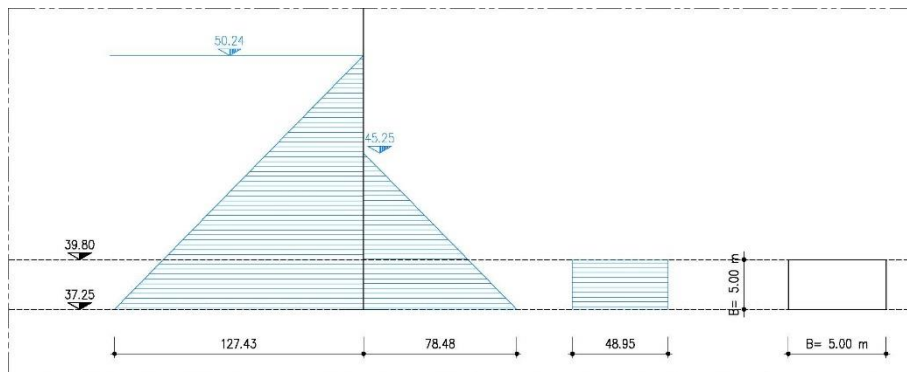
➤ **SPINTE DELL'ACQUA**

Le spinte dell'acqua sono state analizzate nelle configurazioni descritte al paragrafo 5.4.

Nelle configurazioni con bocche chiuse, si sono considerate le spinte trasmesse dalle paratoie alla struttura applicando sul perimetro di battuta carichi



distribuiti valutati in accordo con lo schema seguente (che riporta, a titolo esemplificativo, il calcolo relativo alla piena millenaria).



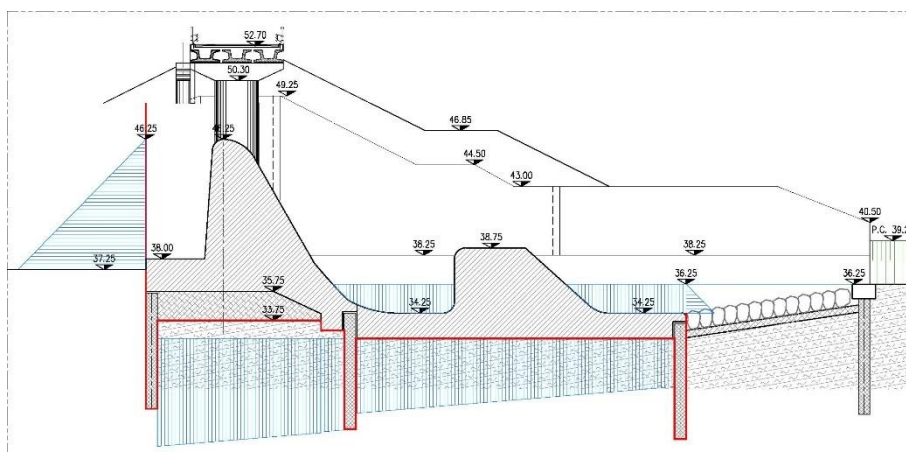
$$P = 48.95 \frac{kN}{mq} \cdot B \cdot H \cong 624 kN$$

$$q = \frac{P}{B + 2 \cdot H} \cong 61.80 \frac{kN}{m}$$

(da applicare sui lati verticali e su quello superiore del perimetro rettangolare)

#### ➤ SOTTOSPINTE

Per il calcolo delle sottospinte si è considerato che la differenza di carico tra monte e valle venga dissipata linearmente (cfr. *R03 – Relazione idraulica*) lungo il percorso evidenziato in rosso nella figura seguente. Per la configurazione di invaso sperimentale (visibile nell'immagine) si è assunto che la quota di falda a valle coincida con la quota del piano campagna.





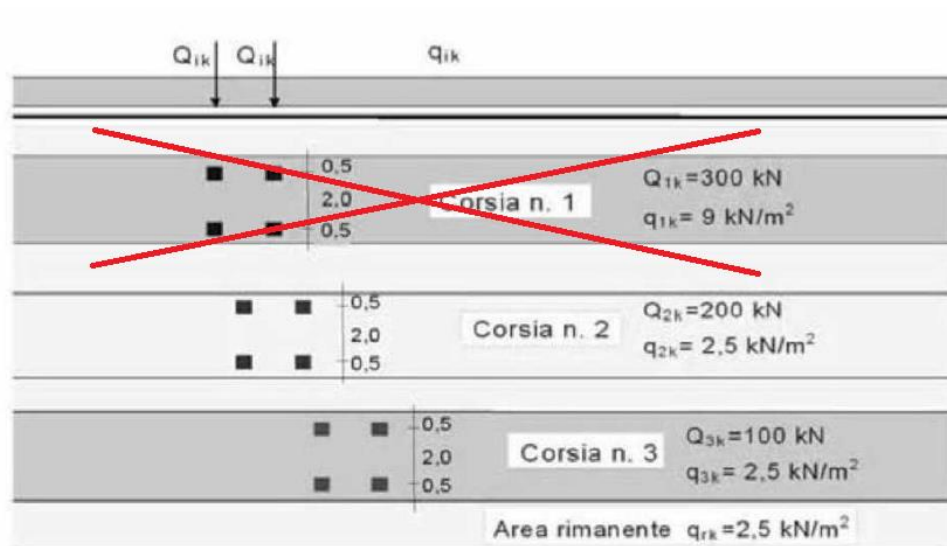
## ➤ MEZZI E PERSONE SULL'IMPALCATO

Si specifica innanzitutto che l'impalcato in progetto non è riconducibile ad un ponte stradale, in quanto su di esso si prevede la presenza di una strada privata, con permesso di accesso ai soli mezzi autorizzati, che dovranno peraltro rispettare limitazioni di carico.

Per questa ragione non si è ritenuto necessario considerare in maniera puntuale e sistematica gli schemi di carico definiti dalla normativa [NTC 2018 – Par. 5.2.3.3.3].

Piuttosto, la situazione maggiormente critica è stata valutata con riferimento allo schema di carico 1, ma trascurando la presenza del mezzo che genera un carico di 300 kN per asse (il transito di veicoli tanto pesanti sull'impalcato sarà vietato e impedito).

In definitiva è stata considerata la presenza di due veicoli parzialmente affiancati, con assi posteriori allineati in corrispondenza della mezzzeria delle travi. Cautelativamente si è assunto che su ciascuna corsia sia presente un mezzo da 400 kN.



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

La distanza tra l'asse anteriore e quello posteriore è assunta pari a 7 m per entrambi i veicoli. Il carico distribuito è applicato su ogni trave tenendo conto che ognuna ha una larghezza di pertinenza  $B$  pari a 2.2 m.

$$q_{k,trave} = q_k \cdot B = 5.5 \text{ kN/m}$$

➤ **FORZE INERZIALI DOVUTE AL SISMA**

Le forze inerziali dovute al sisma (SLD e SLC) sono state applicate con le procedure e le accelerazioni descritte al paragrafo 5.5

➤ **SOVRASPINTA SISMICA DELL'ACQUA**

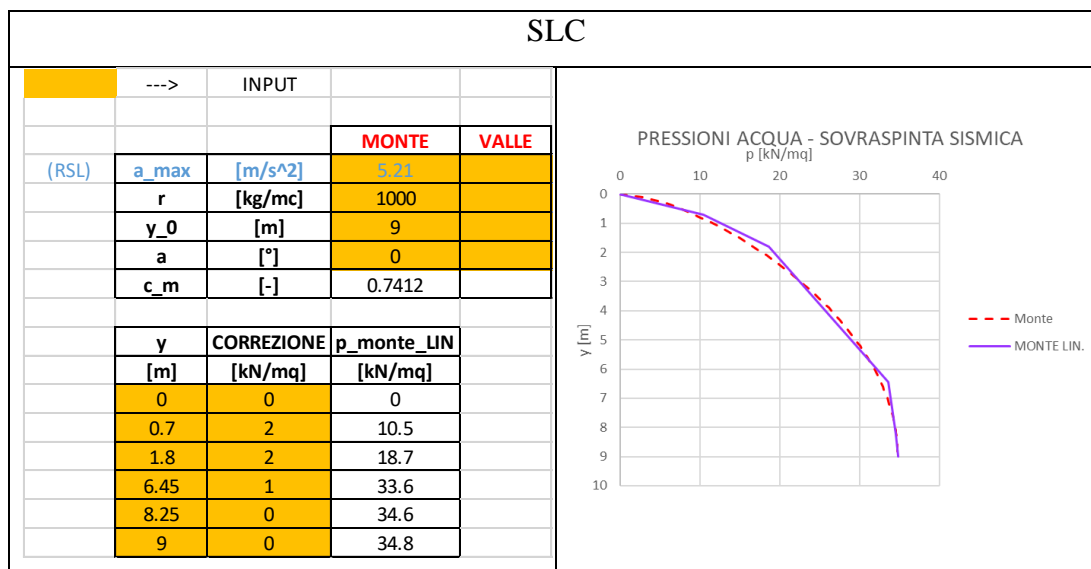
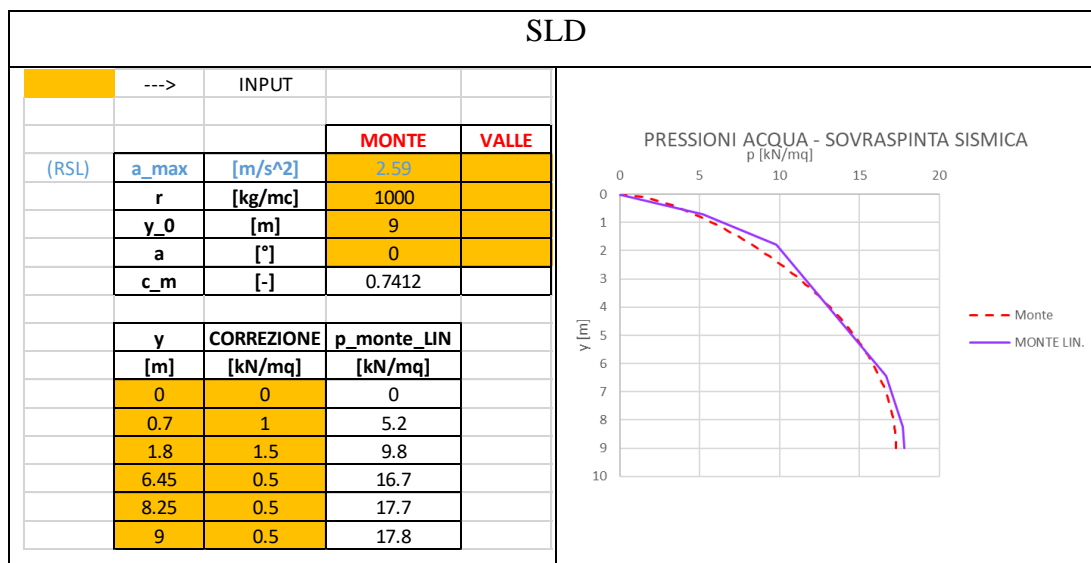
Come mostrato nella figura seguente, l'andamento delle sovra-pressioni è stato opportunamente linearizzato in maniera tale che potesse essere definito in SAP2000.

L'accelerazione orizzontale massima al sito è stata calcolata a partire dalla media dei picchi degli spettri di risposta sismica locale  $S_{e,max}$ , divisa per il valore del fattore di amplificazione dello spettro orizzontale  $F0$  (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*):

SLD		SLC	
$S_{e,max} [g]$	0.64	$S_{e,max} [g]$	1.28
$F0 [-]$	2.433	$F0 [-]$	2.40
$a_{max} [\frac{m}{s^2}]$	2.59	$a_{max} [\frac{m}{s^2}]$	5.21

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



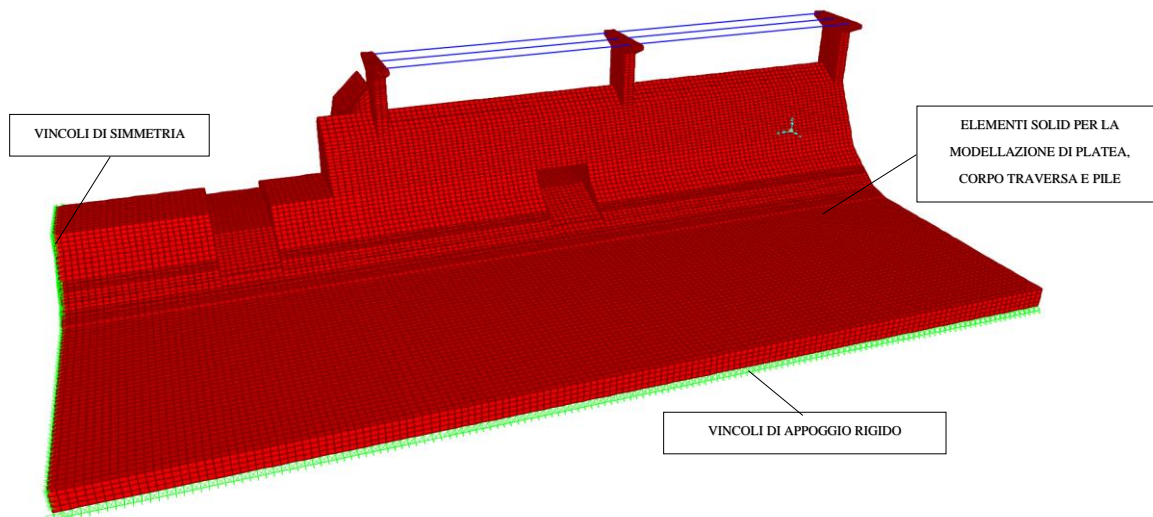
Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 5.1.3.14, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

COMBINAZIONI	SITUAZIONE PROGETTUALE	PESO PROPRIO	MANTO STRADALE	GUARDRAIL	SPINTE ACQUA	SOTTOSPINTA	AZIONI VARIABILI CONCENTRATE SULL'IMPALCATO	AZIONI VARIABILI DISTRIBUITE SULL'IMPALCATO	SISMA
ECCEZIONALE	T1000	1	1	1	1	1	-	-	-
ECCEZIONALE	T200	1	1	1	1	1	-	-	-
SLU FONDAMENTALE	Invaso sperimentale	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	-	-	-
SLU FONDAMENTALE	750 m3/s e bocche chiuse	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	-	-	-
SISMICA SLC	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	-	-	1
SISMICA SLD	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	-	-	1

Gli effetti dell'evento sismico sono stati ottenuti considerando l'involuppo degli effetti dovuti ad accelerazioni caratterizzate da versi opposti [NTC 2018 – Par. 7.3.5.].

## 5.7 Modellazione e risultati dell'analisi

Il manufatto è stato modellato come segue.



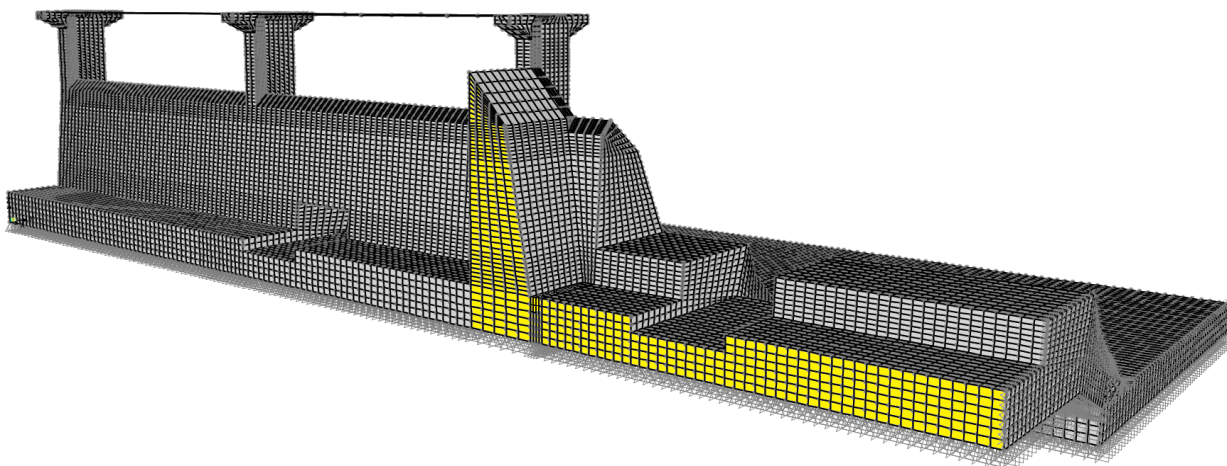
Viste le caratteristiche del manufatto, si è ritenuto che il modello dovesse essere concepito sulla base di elementi tridimensionali, detti “solid”, che consentono tra le altre cose uno studio approfondito e sistematico dello stato di sforzo all'interno della struttura.

Peraltro, l'impiego di elementi tridimensionali consente di realizzare modelli che riproducono il più fedelmente possibile le caratteristiche geometriche dei manufatti in analisi, nonché le condizioni di carico cui sono soggetti e i vincoli ad essi applicati: ciò chiaramente si traduce in un incremento del grado di accuratezza ed affidabilità dei risultati generati dall'analisi.

Nello specifico, è risultata di particolare interesse, ai fini di questa progettazione definitiva, la valutazione delle tensioni di trazione nel calcestruzzo: sulla base dei risultati generati dal modello è stato infatti possibile:

- valutare se fosse necessario o meno prevedere la presenza di barre di armatura per garantire la resistenza degli elementi strutturali in progetto;
- verificare la resistenza degli elementi esistenti nella configurazione di progetto, ovvero considerando le nuove condizioni di carico cui si prevede saranno soggetti.

Vista la simmetria del problema (geometria e carichi simmetrici) è stata modellata esclusivamente una metà del manufatto: vincoli di simmetria sono stati opportunamente predisposti sul piano di sezione. La presenza dei diaframmi è stata rappresentata per mezzo di vincoli di appoggio rigido, mentre l'interazione suolo-terreno è stata simulata applicando all'intradosso della fondazione molle alla Winkler. Si specifica che non è stato definito alcun vincolo in corrispondenza del giunto strutturale di collegamento al manufatto regolatore in progetto. Questo perché si prevede che il giunto venga dimensionato in maniera tale da non trasmettere alcuna sollecitazione, né in condizioni statiche né in condizioni sismiche. La superficie lungo la quale è prevista l'installazione del giunto strutturale è evidenziata in giallo nella figura seguente.



Nel seguito si riportano i diagrammi maggiormente significativi al fine di valutare l'entità degli sforzi normali di trazione nel calcestruzzo agli SLU e agli SLE.

Si riportano unicamente i risultati relativi alle combinazioni sismiche SLC e SLD (involuppi) in quanto risultano sempre più critici rispetto alla combinazione eccezionale e a quelle SLU/SLE.

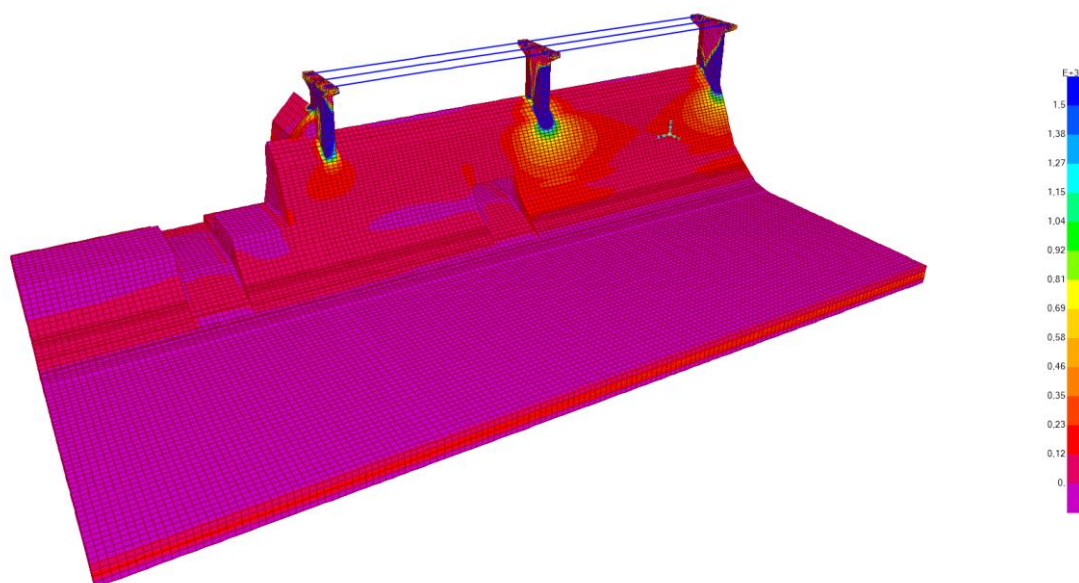


### 5.7.1 Risultati SLU

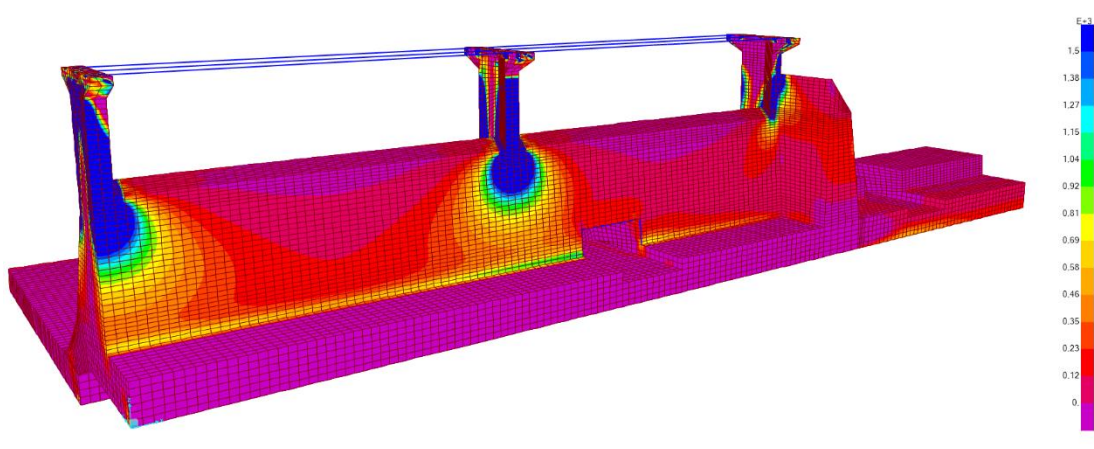
Per quanto riguarda gli Stati Limite Ultimi, i valori più elevati delle trazioni nel cls si ottengono considerando gli sforzi normali verticali generati da combinazione SISMICA SLC, riportati di seguito. I valori in legenda sono espressi in  $\text{kN/m}^2$ .

Per semplicità di lettura si è posto il limite superiore della scala di colori pari alla resistenza a trazione del calcestruzzo; le zone blu nelle figure seguenti sono quindi quelle dove risulta necessario predisporre idonea armatura.

#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE

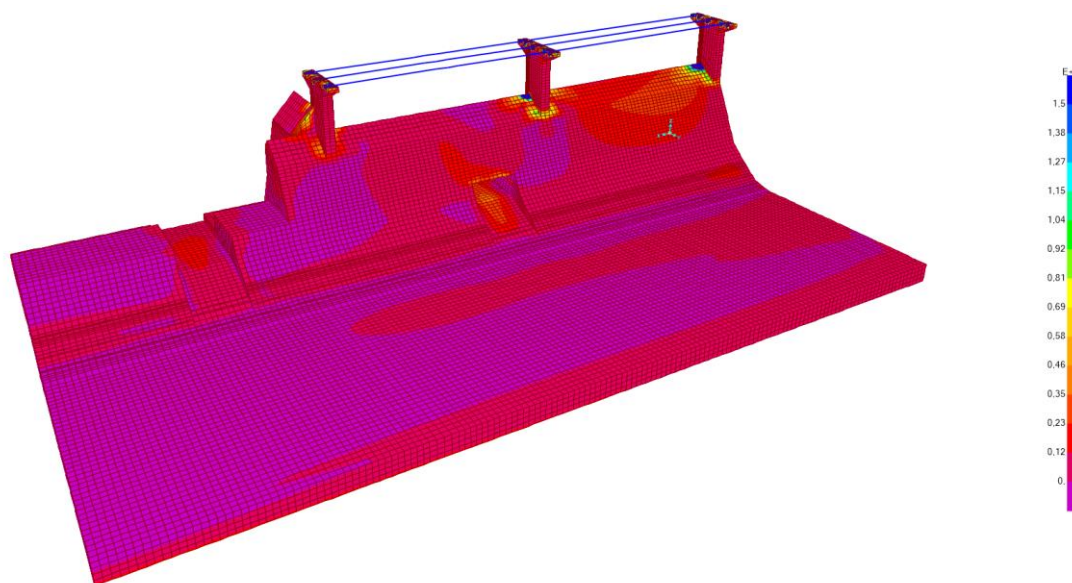


#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

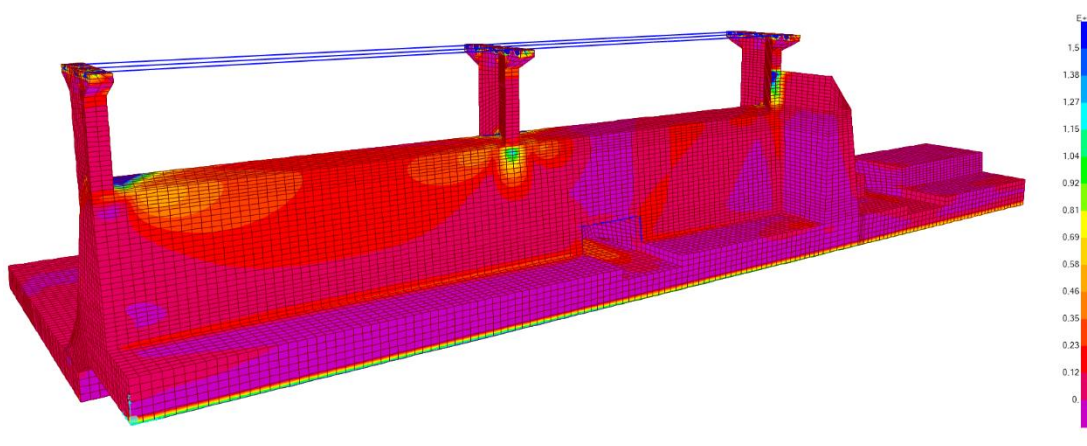


Per completezza si riportano di seguito anche i diagrammi degli sforzi orizzontali, sempre in combinazione SISMICA SLC. Si tenga presente che gli sforzi S11 sono quelli normali paralleli all'asse dello sbarramento, mentre gli sforzi S22 sono perpendicolari ad esso.

### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

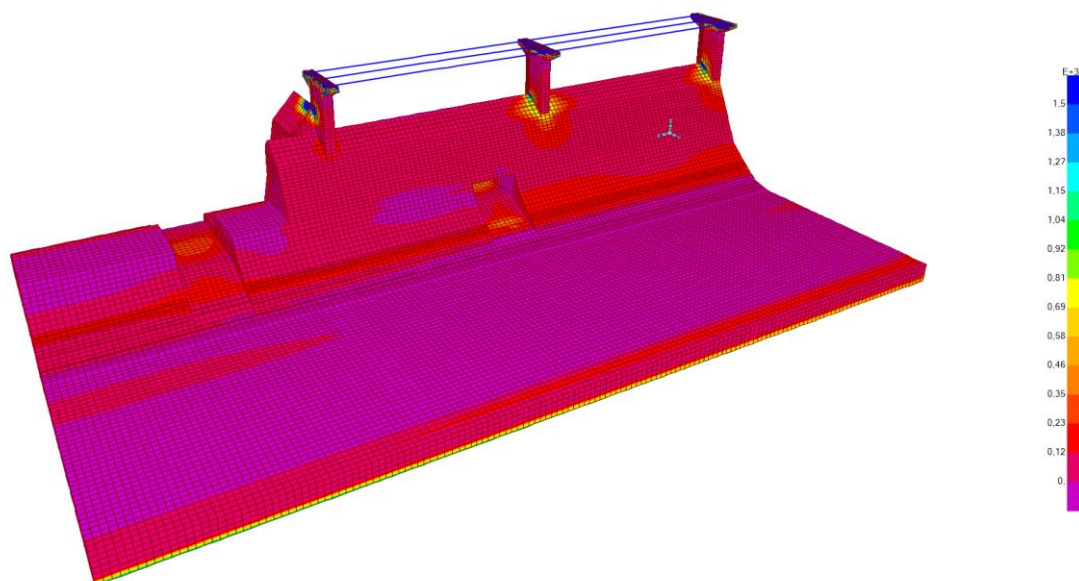




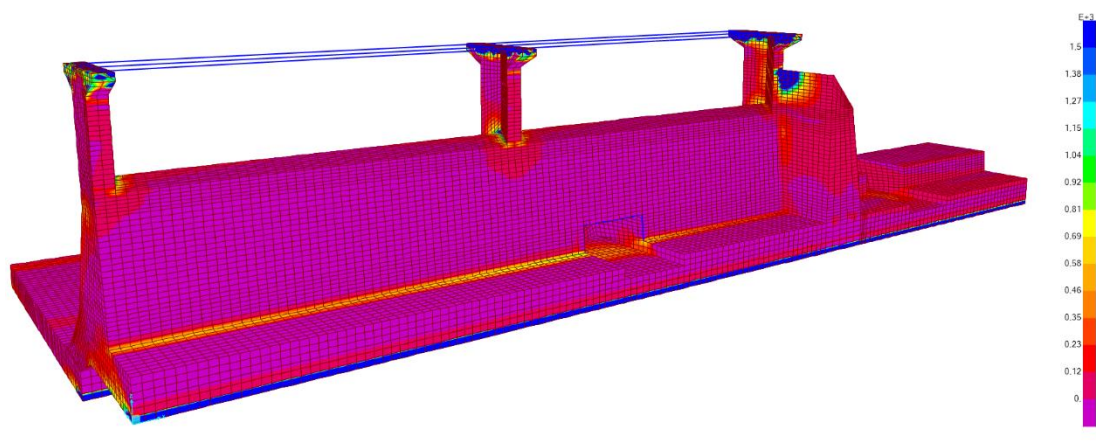
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

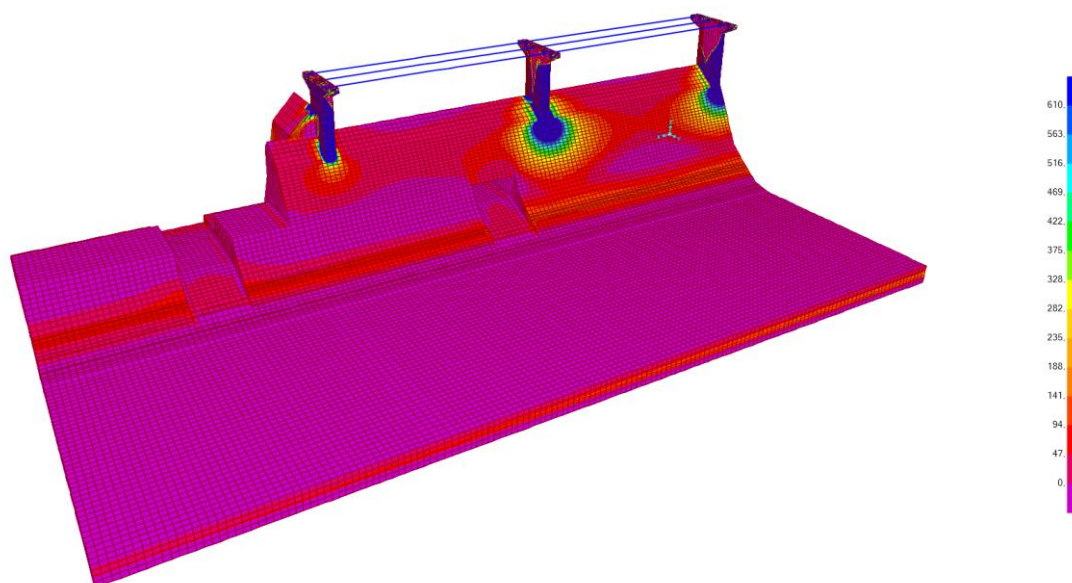


### 5.7.2 Risultati SLE

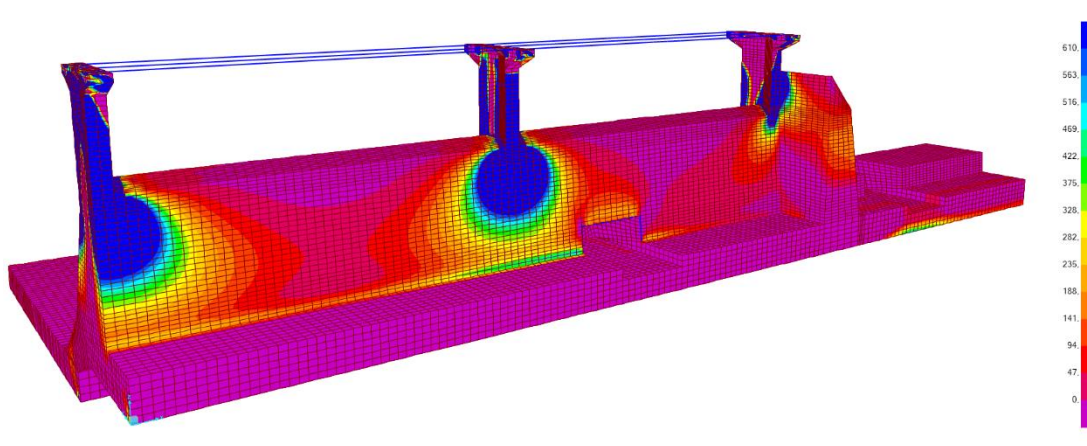
Per quanto riguarda gli Stati Limite di Esercizio, i valori più elevati delle trazioni nel cls si ottengono considerando gli sforzi normali verticali generati da combinazione SISMICA SLD, riportati di seguito. I valori in legenda sono espressi in  $\text{kN/m}^2$ .

Per semplicità di lettura si è posto il limite superiore della scala di colori pari al limite previsto da normativa [D.M. 26/06/2014 – Par. D.2.2.2]; le zone blu nelle figure seguenti sono quindi quelle dove risulta necessario predisporre idonea armatura.

#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

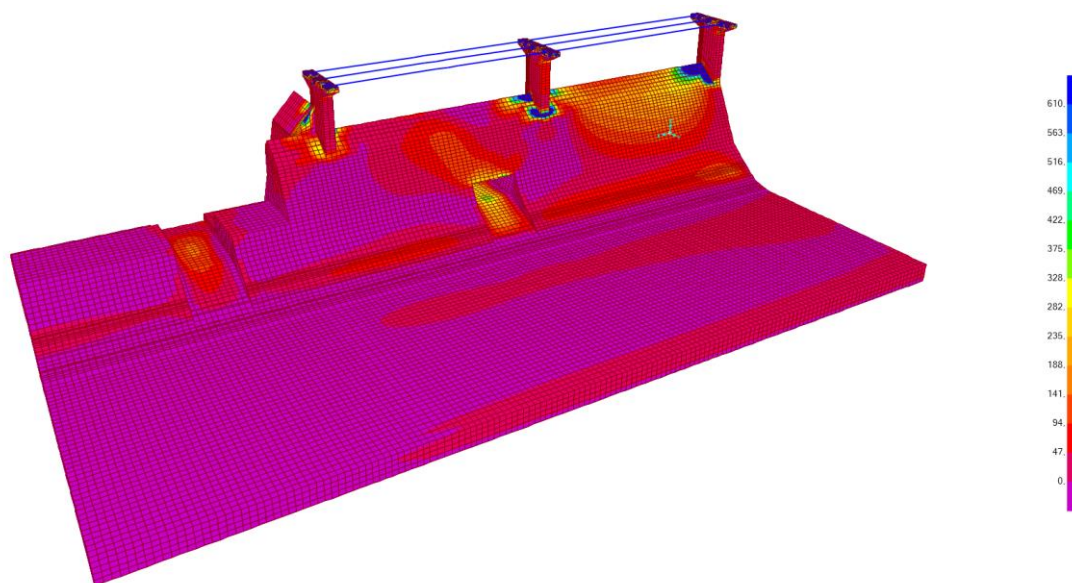


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

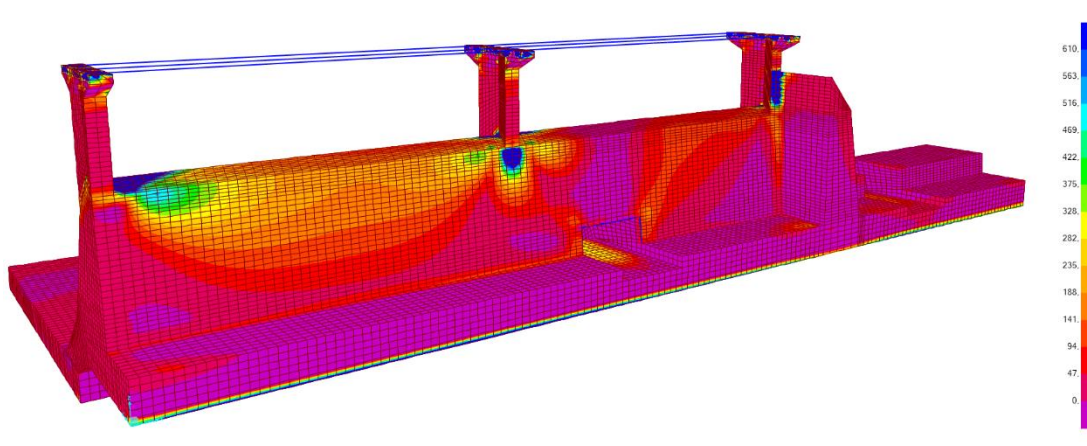
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Per completezza si riportano di seguito anche i diagrammi degli sforzi orizzontali, sempre in combinazione SISMICA SLD. Si tenga presente che gli sforzi S11 sono quelli normali paralleli all'asse dello sbarramento, mentre gli sforzi S22 sono perpendicolari ad esso.

#### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



#### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

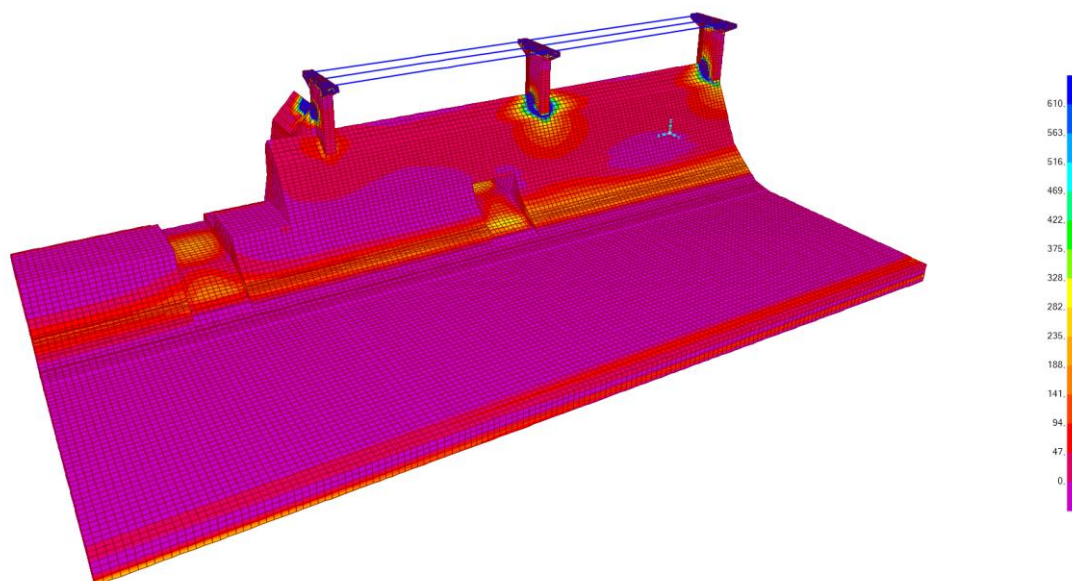




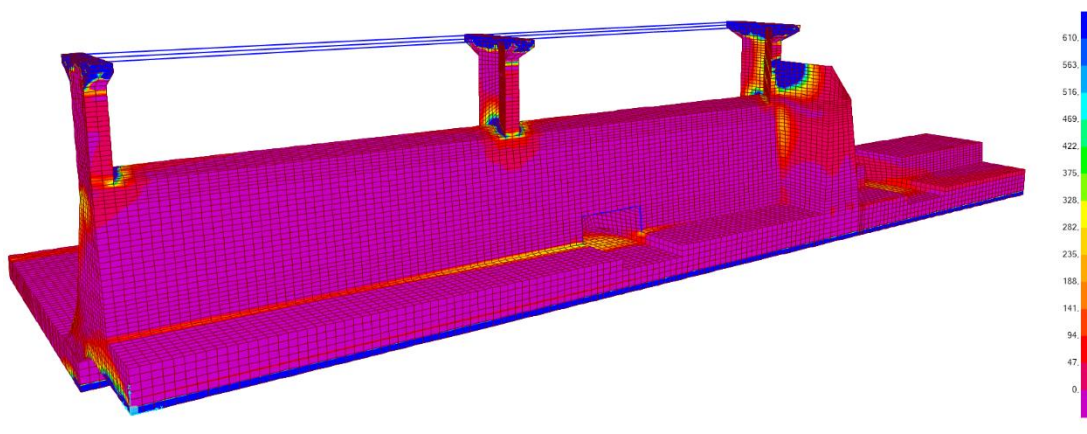
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE



## 5.8 Verifiche effettuate

Come si evince, gli sforzi di trazione si attestano in genere su valori di fatto inferiori alla resistenza a trazione del calcestruzzo  $f_{ctd} \cong 1.5 \text{ MPa}$ : le uniche porzioni in cui raggiungono valori considerevoli (anche ben oltre il limite di resistenza a trazione del calcestruzzo selezionato) sono le pile a sostegno dell'impalcato e le zone immediatamente limitrofe ad esse.

Pertanto chiaramente dovranno essere predisposte armature che garantiscano la resistenza delle pile di nuova realizzazione. Il calcolo dell'area di ferro necessaria per far fronte alle sollecitazioni di progetto è riportato nel paragrafo seguente.

Escludendo le trazioni nelle pile, il valore più elevato agli SLU, pari a  $920 \text{ kN/m}^3$  (cioè  $0.92 \text{ MPa}$ ) si registra nella porzione inferiore del paramento di monte del corpo traversa, in corrispondenza dell'incastro con la platea di fondazione. Peraltro si riscontrata solo localmente.

Relativamente agli SLE, i limiti massimi delle trazioni sono assunti in coerenza con quanto previsto dalla normativa per le dighe a gravità [D.M. 26/06/2014 – Par. D.2.2.2]:

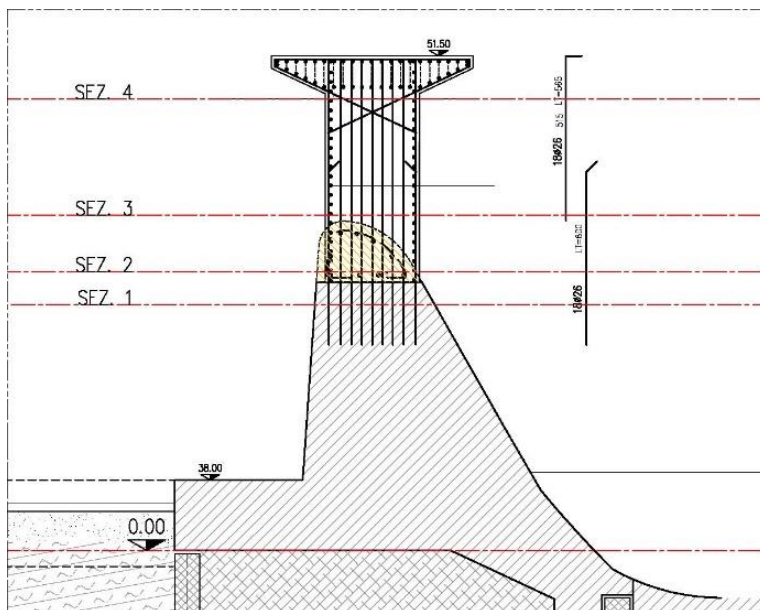
- COMBINAZIONE SLE RARA  $\rightarrow \sigma_t \leq 0.21 \cdot f_{ctm} \cong 0.6 \text{ MPa}$
- COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE  $\rightarrow \sigma_t = 0 \text{ MPa}$  (*stato limite di decompressione*)

Come si evince, gli sforzi di trazione agli SLE sono sempre inferiori a tale soglia, ad eccezione che nelle pile e nelle zone ad esse limitrofe.

Alla luce di tali considerazioni, si ritiene che gli elementi esistenti in calcestruzzo siano in grado di garantire la resistenza necessaria per far fronte alle azioni di progetto pur in assenza di barre di armatura.

### 5.8.1 Dimensionamento delle pile

Per il dimensionamento delle pile dell'impalcato, sono state estratte dalla modellazione SAP le risultanti degli sforzi agenti (Momento e taglio) su ciascuna delle tre pile a quattro diverse quote, visibili nell'immagine seguente.



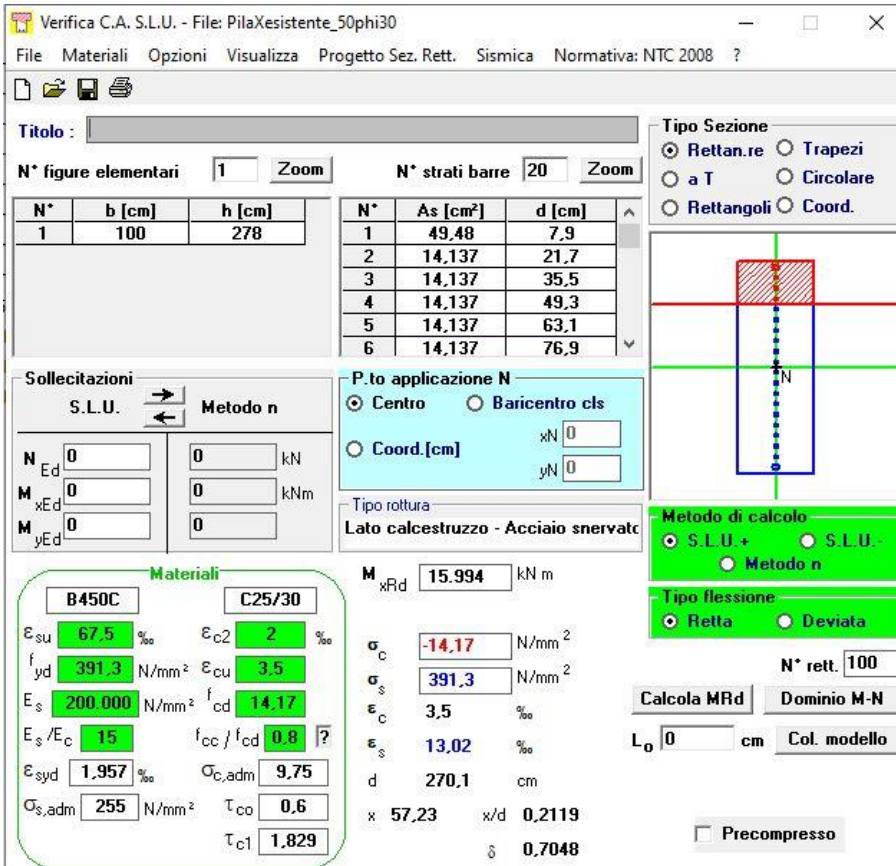
Poiché, essendo di tipo dissipativo, gli appoggi selezionati per le travi (cfr. cap. 9.7), di fatto impediscono la trasmissione di sollecitazioni in direzione parallela all'asse dell'impalcato (X nel modello), le pile sono state analizzate considerando unicamente le sollecitazioni agenti nella direzione trasversale di maggiore inerzia (Y nel modello). Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi tra quelli estratti, utilizzati per il predimensionamento delle pile; come si osserva, i valori massimi delle sollecitazioni si ottengono nella prima sezione al di fuori del manufatto esistente.

SLC			
Sezione	z SAP [m]	Ved [kN]	Med [kNm]
1	7.83	191.26	5442.92
2	8.88	300.69	9983.28
3	10.68	3103.45	15643.48
4	14.37	2781.09	4996.44

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Il predimensionamento è stato effettuato valutando la resistenza a pressoflessione della sezione con il software C.A. S.L.U. sviluppato dal prof. ing. Piero Gelfi; si è considerata una sezione rettangolare equivalente (stessa area di calcestruzzo), in cui sono stati predisposti 50Φ30. Si riportano di seguito i risultati.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: PilaEsistente\_50phi30**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**TITOLO :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	278

N°	As [cm²]	d [cm]
1	49,48	7,9
2	14,137	21,7
3	14,137	35,5
4	14,137	49,3
5	14,137	63,1
6	14,137	76,9

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>Ed</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**  
**B450C** **C25/30**  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
 τ<sub>c1</sub>  ‰

**M<sub>Rd</sub>**  kN m  
 σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>c</sub>  ‰  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

**N° rett.**   
 Calcola M<sub>Rd</sub> Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>  cm Col. modello  
☐ Precompresso

Poiché il momento resistente è pari a  $M_{Rd} = 15'994 kNm$ , la verifica a flessione risulta soddisfatta.

Si è inoltre effettuata la verifica a taglio, considerando il contributo delle armature trasversali resistenti a taglio come previsto da normativa:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



b = 100 cm  
h = 278 cm  
d' = 5 cm  
d = 273 cm

**Elemento con armature trasversali resistenti a taglio**

$\Phi 14$   
s = passo 20 cm  
n° bracci = 2  
 $A_{s,w} = 3.079 \text{ cm}^2$

$\alpha$  = angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha = 90.00^\circ = 1.57 \text{ rad}$

$\cot\alpha = 0.00 \quad \sin\alpha = 1.00$

$$1 \leq \cot\theta \leq 2.5$$

$$\cot^2 \theta = (b_w s (\alpha_c f_{cd}) / (A_{s,w} f_{yd} \sin\alpha)) - 1 = 10.712 \rightarrow \cot\theta = 2.500$$

$$\alpha_c = 1$$

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$$V_{Rsd} = 0.9 d (A_{s,w} / s) f_{yd} (\cot\alpha + \cot\theta) \sin\alpha = 3700.03 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$$V_{Rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f_{cd} (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 5977.29 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = V f_{cd} = 0.5 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) = 3700.03 \text{ kN} > V_{Ed} = 3,103.00 \text{ kN}$$



## 6 Muro arginale

### 6.1 Descrizione delle opere

Per il raccordo tra l'impalcato di servizio e le arginature in corrispondenza di entrambe le spalle dello sbarramento esistente è prevista la realizzazione di muri di sponda di sostegno. Tali muri, collocati 6 m a tergo degli esistenti, saranno sagomati secondo la sezione arginale di progetto che, rispetto all'esistente, prevede un rialzo in sommità di circa 2.50 metri fino alla quota di 51.75 m s.l.m. Il raccordo altimetrico tra questa quota e il piano strada dell'impalcato di servizio (52,70 m s.l.m.) verrà realizzato con una rampa in c.a. di lunghezza pari a circa 6,5 m e pendenza 15%. Sotto il piano fondazione dei nuovi muri di sponda è prevista la realizzazione di una diaframmatura in c.a. di spessore pari a 80.00 cm fino alla profondità di 33.70 m s.l.m. La porzione di argine esistente rimanente tra i muri di spalla nuovi ed esistenti il cui coronamento si mantiene pari all'attuale quota di 49.25 m s.l.m.

## 6.2 Disegni di riferimento

Gli elaborati grafici relativi alle opere in analisi sono elencati nella tabella seguente.

Codice tavola	Titolo tavola	Scala
Tav. A.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Planimetria di progetto	1:500
Tav. A.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Stato di fatto e demolizioni (pianta e sezioni)	1:200
Tav. A.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 56.20 m s.l.m. (Copertura)	1:200
Tav. A.4.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da A-A a C-C	1:200
Tav. A.4.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da D-A a H-H	1:200
Tav. A.5.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 52.60 m s.l.m. (Impalcato ponte di servizio)	1:200
Tav. A.5.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 50.30 m s.l.m. (scarico di superficie)	1:200
Tav. A.5.3.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 46.75 m s.l.m. (Muri manufatto di regolazione)	1:200
Tav. A.5.3.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri del manufatto di sbarramento e regolazione	indicata
Tav. A.5.3.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri di sponda, viste e sezioni	1:100
Tav. A.5.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 38.00 m s.l.m. (Piano fondazione)	1:200

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione dell'invaso: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200
Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200
Tav. A.11.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: manufatto esistente e muri arginali	indicata

## 6.3 Caratteristiche dei materiali strutturali

### 6.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione delle pile dell'impalcato in progetto è pari a 30 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.8 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 14 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

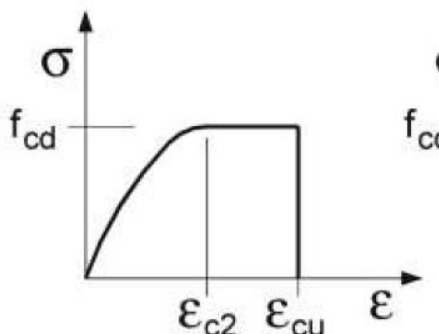
La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.19 \text{ MPa}$$

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 31500 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20‰ e 0.35‰.

### 6.3.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento  $f_{y,nom}$  e della tensione a carico massimo  $f_{t,nom}$  da utilizzare nei calcoli [NTC 2018 – Par. 11.3.2.1]:

$$f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

Tra i requisiti richiesti da normativa [NTC 2018 – Tab. 11.3.Ib] sono specificati i due vincoli seguenti in merito ai valori caratteristici delle tensioni.

$$f_{y,k} \geq f_{y,nom}$$

$$f_{t,k} \geq f_{t,nom}$$

Pertanto i valori considerati per le tensioni caratteristiche sono i seguenti:

$$f_{y,k} = f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

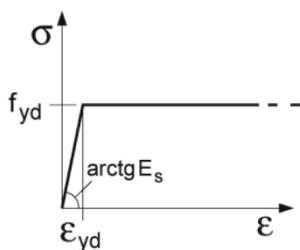
$$f_{t,k} = f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto dell'acciaio  $f_{y,d}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore si ottiene come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2]:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cong 391.3 \text{ MPa}$$

essendo  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Il diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.2]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \epsilon$  di elastico perfettamente plastico.



## 6.4 Valutazione dell'azione sismica

La valutazione degli effetti riconducibili al sisma è stata condotta mediante un'analisi lineare statica [NTC2018 – Par. 7.3.3.2], cioè in sostanza il sisma è stato rappresentato applicando forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  e la forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7]$$

dove:

$F_h$  =  $S_d(T_1) W \lambda / g$

$F_i$  è la forza da applicare alla massa i-esima;

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j;

$z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j;

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

$W$  è il peso complessivo della costruzione;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se  $T_1 < 2T_C$  e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Il periodo fondamentale di vibrazione della struttura è stato individuato attraverso l'analisi modale svolta con il software SAP2000, ed è pari a  $T_1 = 0.1003$  s.

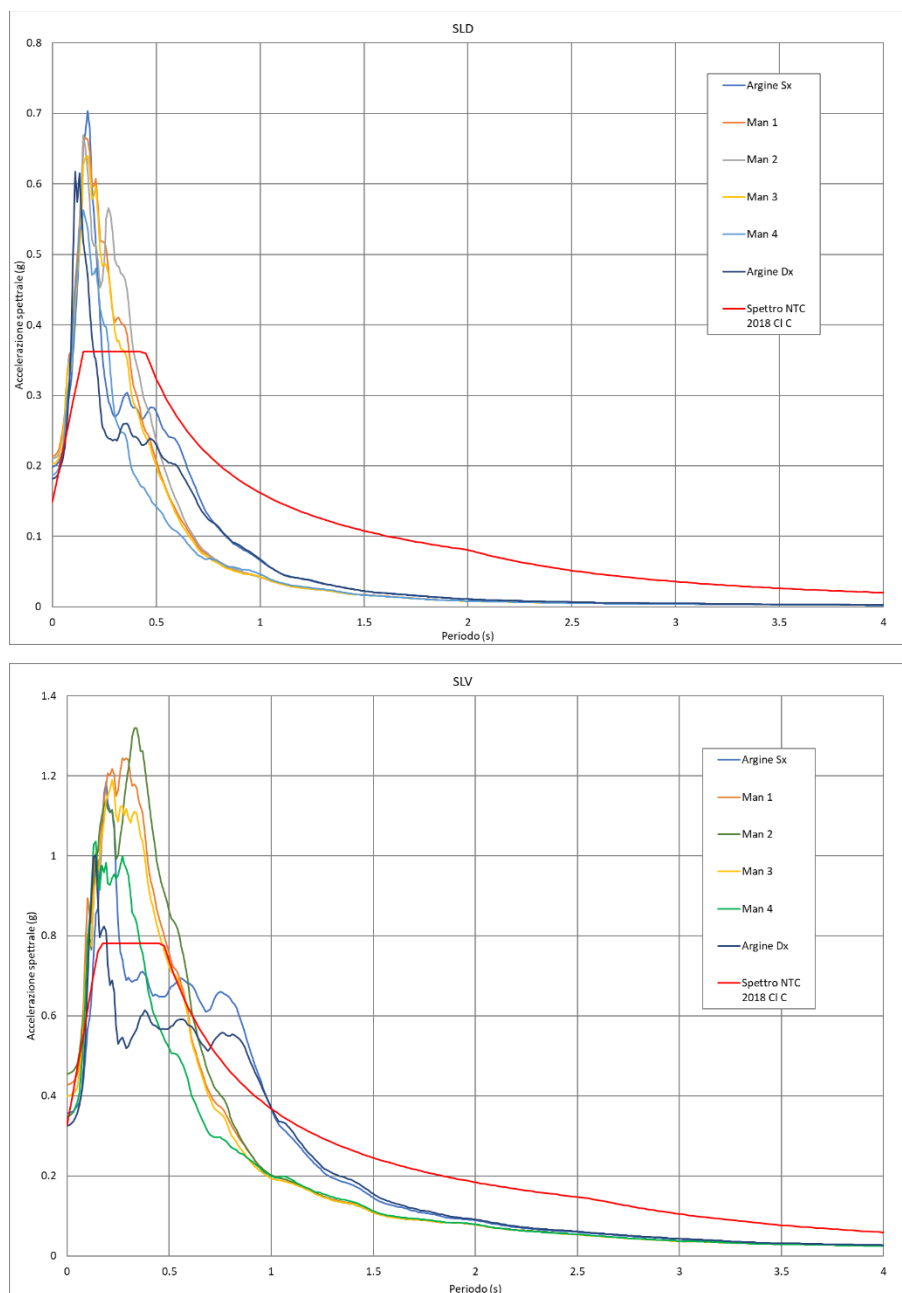
In accordo con quanto previsto dalla normativa [NTD14 – Par. C.6 e Circolare 16790 – Cap. II], le verifiche sismiche sono state svolte per lo SLD e lo SLC, ovvero sono state omesse le verifiche allo SLO e allo SLV in quanto le prestazioni per detti stati limite sono garantite con livelli di azione sismica maggiore.

La risposta sismica è stata caratterizzata a livello locale tramite modellazione bidimensionale effettuata sulla base di una sezione litostratimetrica ricavata a partire da sondaggi effettuati in corrispondenza del manufatto regolatore (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*).

Gli spettri elastici rappresentativi della risposta sismica locale sono mostrati nei seguenti grafici, in cui è riportato anche lo spettro definito da NTC.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

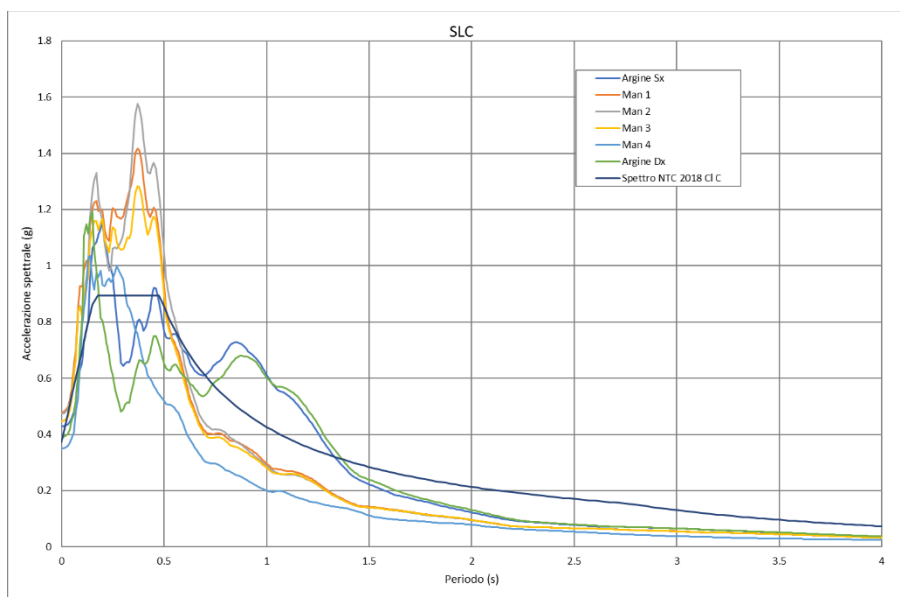
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)





**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



L'entità delle forze statiche equivalenti è stata calcolata come ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  per ciascuno degli spettri di risposta locale e per lo spettro fornito da normativa; il valore assunto per le verifiche è quello massimo tra la media dei valori delle RSL e il valore ottenuto da NTC, ed è evidenziato in giallo nelle tabelle seguenti.

Muro arginale $T_1=0.1003$ s		Se ( $T_1$ ) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.234	0.291	0.617	0.700
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.405	0.758	0.810

## 6.5 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

Oltre al peso proprio del muro (automaticamente calcolato dal software SAP2000), sono stati considerati i seguenti carichi:

### ➤ PESO PROPRIO DELLA TRAVE A GINOCCHIO

E' stato considerato che, essendo un'estremità della trave a ginocchio appoggiata sul muro arginale, metà del suo peso si scarica su di esso. Pertanto sulla sommità del muro è stato applicando un carico distribuito  $p_{trave}$  calcolato come segue.

$$p_{trave} = \frac{L}{2} \cdot s \cdot c = 80 \text{ kN/m}$$

dove:

- $L = 8 \text{ m}$  è la lunghezza della trave a ginocchio;
- $s = 0.8 \text{ m}$  è lo spessore della trave a ginocchio;
- $c = 25 \text{ kN/m}^3$  è il peso per unità di volume del calcestruzzo armato secondo normativa [NTC 2018 – Tab. 3.1.I].

### ➤ SPINTA TERRENO

Le spinte esercitate dal terreno sui muri sono state calcolate assumendo esclusivamente condizioni di lungo termine e considerando che su tutta l'altezza del muro siano presenti terreni granulari (orizzonte B) con i parametri riportati di seguito.

Le pressioni sono ottenute applicando la formula proposta di seguito:

$$p = \gamma_{nat} \cdot z \cdot K_A - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_A}$$

dove:

- $\gamma_{nat} = 21 \text{ kN/m}^3$  è il peso del terreno;
- $\varphi' = 37^\circ$  l'angolo di attrito del terreno;
- $z$  è la profondità rispetto al piano campagna;
- $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ .

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha+\phi)}{\sin^2(\alpha) \cdot \sin(\alpha-\delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\phi-\beta)}{\sin(\alpha-\delta) \cdot \sin(\alpha+\beta)}} \right]^2} = 0.226 \text{ è il coefficiente di}$$

spinta attiva secondo la formulazione di Coulomb [Fondazioni. Progetto e analisi – Joseph E. Bowles], essendo  $\alpha = 90^\circ$  l'inclinazione del muro,  $\delta = \frac{2}{3} \cdot \phi'_k$  l'angolo di attrito cls-terreno, e  $\beta = 0^\circ$  l'inclinazione del piano campagna a monte del muro;

In aggiunta alle spinte del terreno si è considerato il peso del terreno gravante sulla platea del muro a monte e a valle dello stesso.

#### ➤ SOVRACCARICO MEZZI E PERSONE

La presenza di mezzi e persone sul piano campagna immediatamente a monte della sommità del muro è stata associata ad un carico  $q = 10 \text{ kN/m}^2$ . La conseguente sovra-spinta del terreno sul muro è stata calcolata come segue.

$$\sigma'_{h,q} = q \cdot K_a = 2.3 \text{ kN/m}^2$$

#### ➤ FORZE INERZIALI DOVUTE AL SISMA

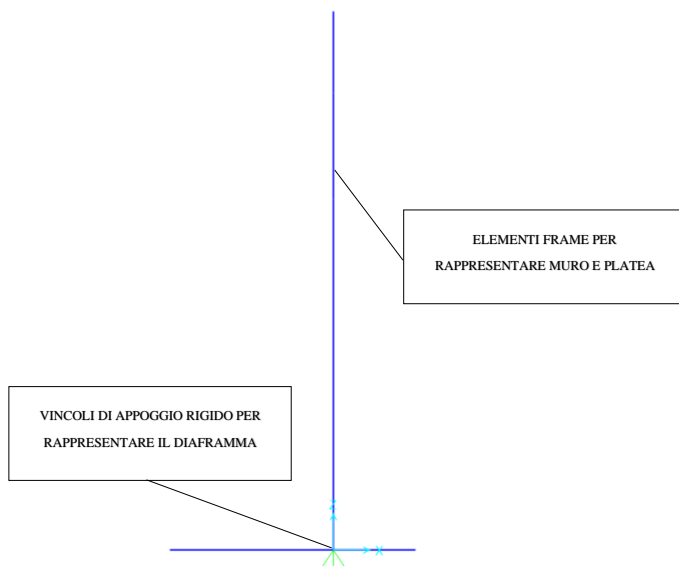
Le forze inerziali dovute al sisma (SLD e SLC) sono state applicate con le procedure e le accelerazioni descritte al paragrafo 6.4

Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 6.2.4.1.1, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

COMBINAZIONI	PESO PROPRIO	SPINTA TERRENO	SOVRACCARICO MEZZI E PERSONE	SISMA
SLU FONDAMENTALE	1.3	1.3	1.5	-
SLE RARA	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	1	1	0.5	-
SLE QUASI PERMANENTE	1	1	0.3	-
SISMICA SLV	1	1	0.3	1

## 6.6 Modellazione e risultati dell'analisi

Il manufatto è stato modellato come segue.



Il manufatto in analisi è caratterizzato da una geometria piuttosto semplice e peraltro, considerato lo spessore e l'entità dei carichi agenti, è ragionevole assumere a priori che debba necessariamente essere armato. Per queste ragioni è stata prediletta una modellazione con elementi monodimensionali tipo “frame”, che garantisce in questo frangente l'accuratezza dei risultati e consente di individuare in maniera agevole la distribuzione delle azioni interne, indispensabile per il corretto dimensionamento delle armature. Si è modellata una porzione di muro di larghezza unitaria.

Alla base del muro è stato predisposto un vincolo di appoggio rigido per rappresentare la presenza del diaframma al di sotto della struttura; sulle rimanenti parti della platea, le reazioni del terreno sottostante sono state rappresentate tramite molle alla Winkler. Allo stesso modo a valle del muro sono state applicate delle molle che rappresentino la presenza del terreno tra il muro di nuova realizzazione e quello esistente.

Nel seguito si riportano:

- i diagrammi e i valori delle massime sollecitazioni flessionali e a taglio ottenuti agli SLU (risulta più critica la combinazione SLU fondamentale);
- i diagrammi e i valori delle massime sollecitazioni flessionali ottenuti agli SLE (risulta più critica a combinazione SISMICA SLD).

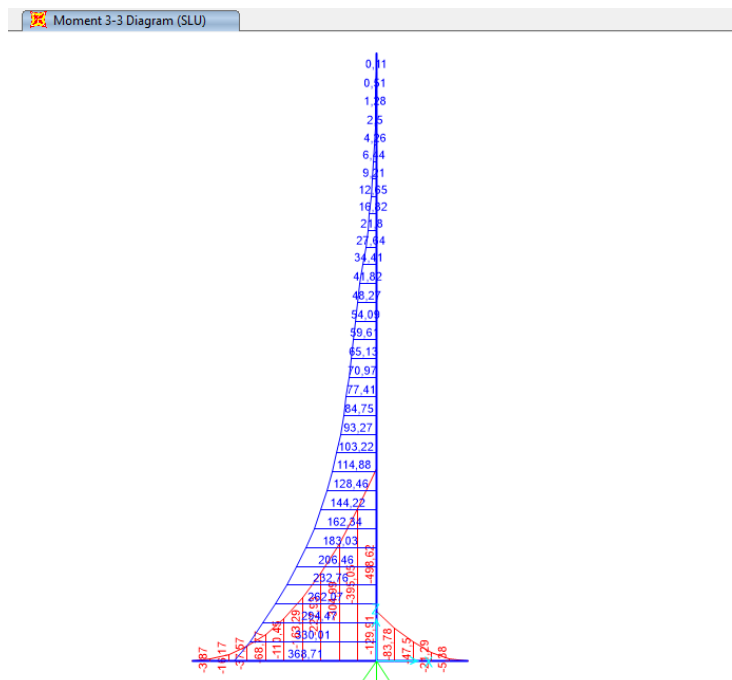
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

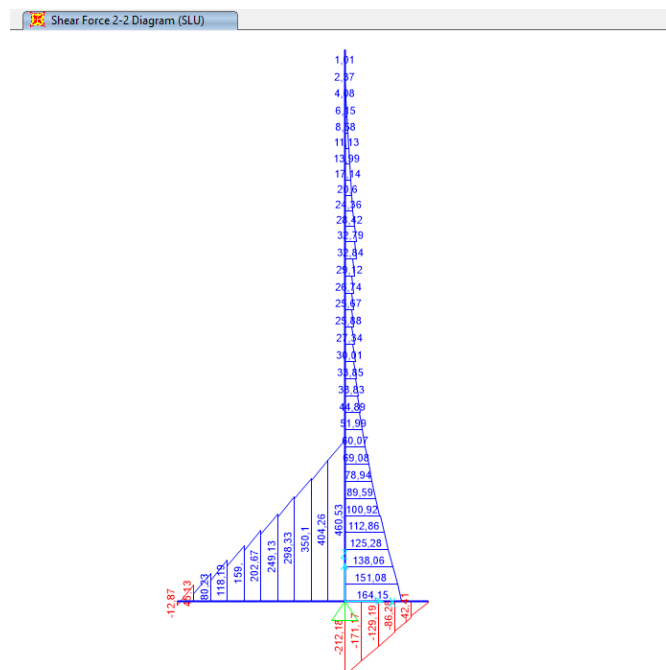
### 6.6.1 Risultati SLU

I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m (momenti) e in kN (forze).

#### MOMENTO M3



#### TAGLIO V2

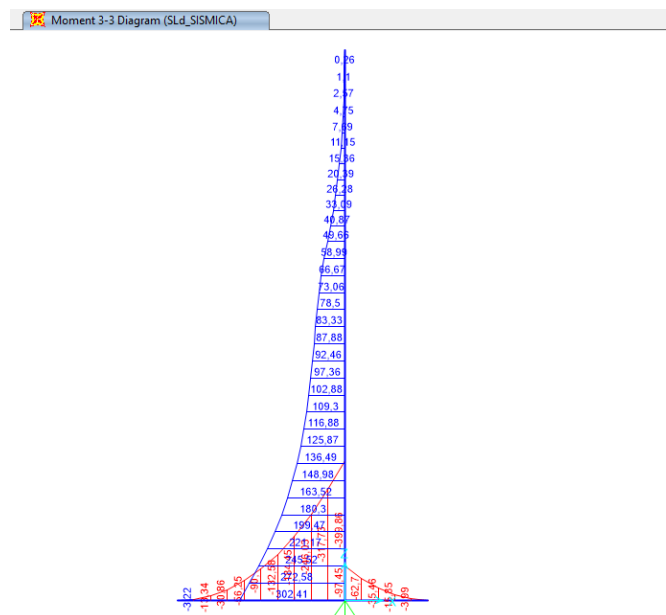


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## 6.6.2 Risultati SLE

### MOMENTO M3





## 6.7 Verifiche effettuate

Sono state effettuate le seguenti verifiche in accordo con la normativa:

- RESISTENZA FLESSIONALE (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.4];
- RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.5];
- FESSURAZIONE (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.2];
- TENSIONI DI ESERCIZIO (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.5].

I calcoli sono riportati nei paragrafi che seguono.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 6.7.1 Muro - Chiamate

	$M_{ED}$ [ kNm/m ]	$N_{ED}$ [ kN/m ]	$T_{ED}$ [ kN/m ]
SLU	368.71	0.00	164.15
RARA	302.41		
FREQ.	302.41		
Q. PERM.	302.41		

#### VERIFICA MURO ARGINALE - CHIAMATE

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	30.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	24.90	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	14.11	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32.90	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{cm}^{2/3} =$	2.56	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.79	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.19	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.69	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	31,447	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	164.15	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d =$	267.87	kN
--	--------	----

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.82 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d =$	244.60	kN
--	--------	----

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.326$$

$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) =$	267.87	kN	>	$V_{Ed} =$	164.15	kN
---------------------------------------	--------	----	---	------------	--------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	368.71	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,221 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$11,422 x^2 + 782,820 x - 83,703,809 = 0$$

$$x = 5.79 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 100.73 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	641.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	368.71	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni in esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	302.41	kNm					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	45.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			17.53	cm	
$d^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$			1,361,601	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.89	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	191.48	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	302.41	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 45.55 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 17.53 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 1,361,601 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 191.48 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00061 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00055$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 20.82 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 40.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.018$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.68$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 33.79 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.207 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 3.89 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 11.21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 191.48 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	302.41	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	17.53	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,361,601	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 191.48 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00061 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00055$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 20.82 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.018 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.68 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 33.79 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.207 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

## 6.7.2 Muro – Armatura verticale

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>262.07</b>	<b>0.00</b>	<b>125.28</b>
<b>RARA</b>	<b>199.45</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>199.45</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>199.45</b>		

### VERIFICA MURO ARGINALE - ARMATURE VERTICALI

#### Caratteristiche dei materiali

##### - Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	30.00	MPa	
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	24.90	MPa	
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	14.11	MPa	
α <sub>cc</sub> =	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
γ <sub>C</sub> =	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	32.90	MPa	
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.56	MPa	
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.79	MPa	
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.19	MPa	
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.69	MPa	
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	31,447	MPa	

##### - Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa	
γ <sub>S</sub> =	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
E <sub>S</sub> =	210,000	MPa	

#### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

#### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	80	cm
d' =	5	cm
d =	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	125.28	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 220.62 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.82 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 244.60 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.326$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 244.60 \text{ kN} > V_{Ed} = 125.28 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	262.07	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,221 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 11,422 & \quad x^2 & + & \quad 437,299 & \quad x & - & 46,758,680 & = & 0 \\ x & = & 4.76 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -36.39 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	364.94	kNm	>	$M_{Ed} =$	262.07	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	199.45	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	14.07	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	817,076	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.43	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	223.10	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	199.45	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 25.45 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 14.07 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 817,076 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 223.10 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00055 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00064$$

$$K_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 40.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.010$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.68$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 47.06 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 3.43 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 11.21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 223.10 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	199.45	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.07	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	817,076	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 223.10 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00055 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00064$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.68 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 47.06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 6.7.3 Platea – Armatura trasversale

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>498.62</b>		<b>460.53</b>
<b>RARA</b>	<b>399.86</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>399.86</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>399.86</b>		

#### VERIFICA MURO ARGINALE - FERRI TRASVERSALI PLATEA

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	30.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	24.90	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	14.11	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32.90	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.56	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.79	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.19	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.69	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	31,447	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	460.53	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d =$	267.87	kN
--	--------	----

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.82 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d =$	244.60	kN
--	--------	----

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.326$$

$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) =$	267.87	kN	<	$V_{Ed} =$	460.53	kN
---------------------------------------	--------	----	---	------------	--------	----

Nel tratto di platea lato campagna, in prossimità del muro, risulta necessario predisporre idonea armatura a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 14$	
$s =$	<b>passo 100</b>	cm
$n^{\circ}$ bracci =	5.00	
$A_{s,w} =$	7.697	cm <sup>2</sup>

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	45.00	° =	0.79 rad
$\cot \alpha =$	1.00	$\sin \alpha =$	0.71

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	32.127	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	<b>2.500</b>
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	503.14 kN
--	-----------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	2298.96 kN
---	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	<b>503.14</b>	kN	$>$	$V_{Ed} =$	<b>460.53</b>	kN
---------------------------------------	---------------	----	-----	------------	---------------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	498.62	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \text{ MPa}$$

armatura compressa in campo elastico

armatura tesa alla tensione  $f_{yd}$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,221 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$11,422 x^2 + 782,820 x - 83,703,809 = 0$$

$$x = 5.79 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 100.73 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	641.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	498.62	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	399.86	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00	
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	45.55	cm <sup>2</sup>
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	17.53	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	1,361,601	cm <sup>4</sup>

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	5.15	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	253.18	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	399.86	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	17.53	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,361,601	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 253.18 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00091 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00072$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 20.82 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.018 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.68 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 33.79 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.300	mm	$\geq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	5.15	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	11.21	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	253.18	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	399.86	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+ 5	$\Phi 16 =$	22.78	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	17.53	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,361,601	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 253.18 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00091 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00072$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 20.82 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.018 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.68 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 33.79 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

#### 6.7.4 Diaframmi

Come visto in precedenza, i diaframmi sono stati inseriti nel modello come vincoli rigidi; essi sono stati quindi dimensionati a taglio sulla base delle reazioni ottenute in corrispondenza di tali vincoli.

In particolare, il taglio massimo agente su una porzione di larghezza 1 m è risultato pari a 186.88 kN (combinazione SISMICA SLC). Su un pannello di 2.40 m si può quindi considerare un taglio agente pari a 448.51 kN.

Tale valore risulta inferiore alla resistenza a taglio della sezione anche senza considerare il contributo delle armature a taglio.

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	448.51	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 8	$\Phi 20 =$	25.13	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 8	$\Phi 20 =$	25.13	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	240	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 466.94 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0014 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 19,200 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 535.88 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 535.88 \text{ kN} > V_{Ed} = 448.51 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

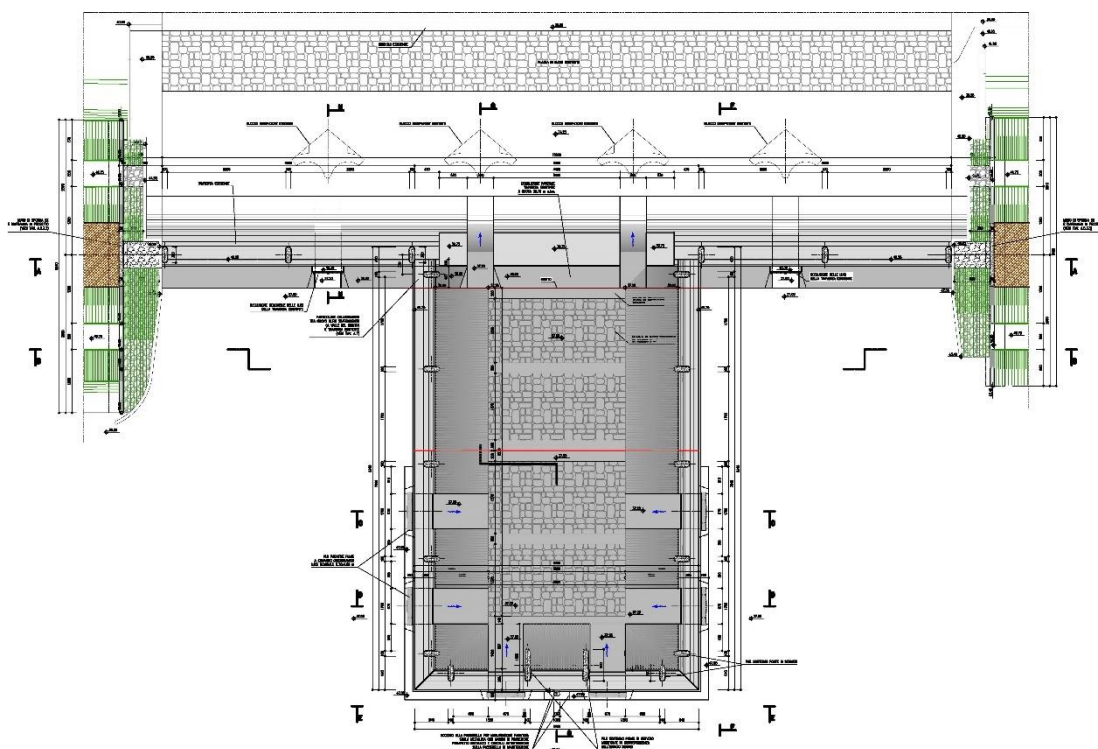
---



## 7 Manufatto regolatore

### 7.1 Descrizione delle opere

L'intervento consisterà nella realizzazione - a monte della traversa esistente - di un corpo aggiuntivo, con pianta a "U" (lunghezza pari a circa 82 metri e larghezza pari a circa 54 metri) avente l'estremità aperta in corrispondenza della porzione demolita dello sbarramento esistente (vedi figura seguente).

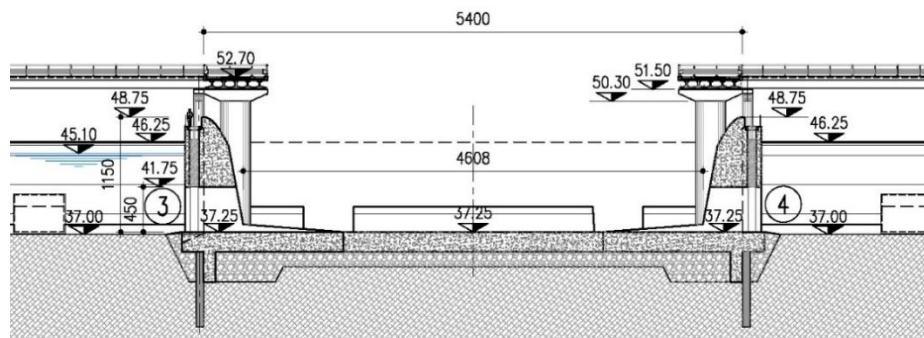


I muri perimetrali del nuovo corpo (di altezza complessiva rispetto al piano di fondazione pari a 13,50 metri) costituiranno, in sommità, il secondo sfioratore di superficie della traversa posto a quota 48.75 m s.l.m., e conterranno, alla loro base, le sei nuove luci di regolazione, aventi dimensioni pari a 6.70 metri alla base e 4.50 metri d'altezza.

La struttura, da un punto di vista costruttivo, si configurerà come un muro a gravità massiccia, avente uno spessore di circa 4 metri alla base ed una fondazione di larghezza pari a circa 16 metri (vedi figura seguente).

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



La parte interna del manufatto (vedi sempre figura in alto) costituirà la vasca di smorzamento. Il fondo verrà realizzato con una platea in massi squadrati di volume almeno pari a  $2 \text{ m}^3$ , interrotta per tutta la sezione trasversale da travi di contrasto di sezione  $200 \times 200 \text{ cm}$ , collocate ad un interasse di circa 13 metri. La testa del muro sarà sagomata con un profilo Creager - Scimeni con soglia sfiorante posta a quota 48.75 m s.l.m.

Come detto, il nuovo sbarramento sarà dotato di 6 bocche di regolazione, due per ogni lato della “U”, di dimensioni pari a  $6.70 \times 4.50$  metri e quota di scorrimento pari 37.25 m s.l.m. Le bocche saranno dotate di paratoie piane a comando oleodinamico. Il complesso scudo, gargami e cilindro oleodinamico delle paratoie sarà alloggiato in una struttura di protezione in c.a., in aggetto alla nuova muratura.

Per garantire facilità di ispezione delle paratoie e del circuito oleodinamico verrà realizzata una passerella di servizio a sbalzo, posta a quota 47.55 m s.l.m, raggiungibile, mediante scala metallica, dal ponte di servizio di seguito descritto.

Si prevede la realizzazione di un ponte di servizio che si svilupperà sopra le soglie sfioranti del manufatto unendo di fatto sponda destra e sinistra del Secchia.

L’impalcato carrabile sarà composto da una soletta in c.a. di spessore 20 cm pavimentata con pacchetto stradale così composto: strato di 7 cm di binder compatto più 3 cm di tappeto di usura; la pavimentazione è contenuta entro cordoli lato strada di altezza 20 cm su cui verrà installato il guard-rail classe H2 bordo ponte. La larghezza corrente lorda dell’impalcato sarà pari a 6.40 metri, tranne in corrispondenza della



porzione mediana dove verrà realizzata una piazzola di larghezza 9.40 m per la costruzione dell'edificio servizi.

La quota piano strada del ponte di servizio sarà pari a 52,70 m s.l.m. e la quota intradosso sarà pari a 51.50 m s.l.m. L'impalcato verrà realizzato con travi prefabbricate precomprese, appoggiate su pulvini, sorretti da pile di sostegno di dimensioni 3.0 x 1.0 metri, collocate ad interasse di 18.00 metri e 14.60 metri rispettivamente sui lati lunghi e sul lato corto del nuovo corpo traversa. In corrispondenza dell'edificio servizi le pile avranno dimensione 6.0 x 1.0 metri.

Tra il manufatto di nuova realizzazione e lo sbarramento esistente sarà realizzato un giunto strutturale, evidenziato in rosso nella prima figura. Circa 31 m a monte di quest'ultimo, ovvero circa a metà del lato lungo del manufatto, è presente un secondo giunto strutturale di dimensioni dell'ordine dei 4-5 cm, in grado di compensare le dilatazioni termiche del manufatto, come dimostrato nella seguente verifica.

In accordo con la normativa [NTC2018 – Par. 3.5.2], le temperature massime e minime per un sito in Zona I possono essere calcolate come:

$$T_{min} = -15 - 4 * \frac{a_s}{1000}$$

$$T_{max} = 42 - 6 * \frac{a_s}{1000}$$

Dove  $a_s$  è l'altitudine di riferimento, che nel caso in esame è pari a circa 40 m s.l.m., per cui risulta:

$$T_{min} = -15.16^\circ C$$

$$T_{max} = 41.76^\circ C$$

In mancanza di determinazioni più precise, la normativa stabilisce inoltre di assumere la temperatura iniziale alla data di costruzione  $T_0 = 15^\circ C$  [NTC2018 – Par. 3.5.4].

Le massime differenze di temperatura a cui può essere soggetto il manufatto risultano quindi:

$$\Delta T_u = T - T_0 = \begin{cases} -30.16^\circ C \\ +26.76^\circ C \end{cases}$$

Il coefficiente di dilatazione termica  $\alpha_T$  per calcestruzzo strutturale è pari a  $\alpha_T = 10 * 10^{-6}/^\circ C$ , per cui le massime dilatazioni termiche nel manufatto risultano:

$$\lambda = \alpha_T * \Delta T_u = \begin{cases} -3.02 * 10^{-4} m/m \\ +2.68 * 10^{-4} m/m \end{cases}$$

Considerando che le porzioni di manufatto a monte e valle del giunto hanno una lunghezza di circa 40 m ciascuna, la massima dilatazione e il massimo ritiro del manufatto sono pari a:

$$x = 2 * \lambda * 40m = \begin{cases} -2.41 \text{ cm} \\ +2.14 \text{ cm} \end{cases}$$

Tali valori risultano quindi compatibili con la presenza di un unico giunto strutturale, con un fattore di sicurezza che è circa pari a 2.

## 7.2 Disegni di riferimento

Gli elaborati grafici relativi alle opere in analisi sono elencati nella tabella seguente.

Codice tavola	Titolo tavola	Scala
Tav. A.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Planimetria di progetto	1:500
Tav. A.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Stato di fatto e demolizioni (pianta e sezioni)	1:200
Tav. A.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 56.20 m s.l.m. (Copertura)	1:200
Tav. A.4.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da A-A a C-C	1:200
Tav. A.4.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da D-A a H-H	1:200
Tav. A.5.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 52.60 m s.l.m. (Impalcato ponte di servizio)	1:200
Tav. A.5.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 50.30 m s.l.m. (scarico di superficie)	1:200
Tav. A.5.3.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 46.75 m s.l.m. (Muri manufatto di regolazione)	1:200
Tav. A.5.3.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri del manufatto di sbarramento e regolazione	indicata
Tav. A.5.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 38.00 m s.l.m. (Piano fondazione)	1:200
Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Tav. A.11.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: diaframmi	indicata
Tav. A.11.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: manufatto	indicata
Tav. A.11.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: manufatto esistente e muri arginali	indicata

## 7.3 Caratteristiche dei materiali strutturali

### 7.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C20/25

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione del corpo, della fondazione e delle travi di contrasto è pari a 25 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 21 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 29 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.6 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 11.8 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

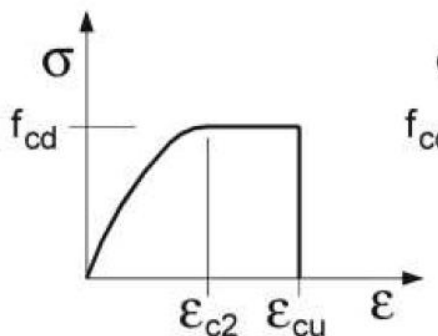
La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.06 \text{ MPa}$$

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 30200 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20‰ e 0.35‰.

### 7.3.2 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione delle pile dell'impalcato in progetto è pari a 30 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.8 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 14 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.19 \text{ MPa}$$

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

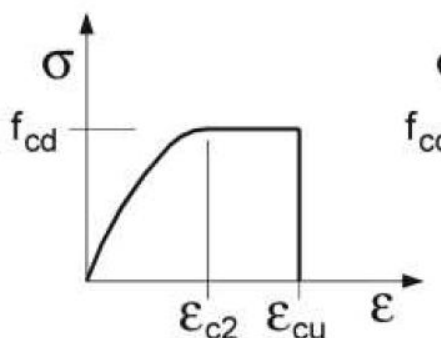
$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 31500 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20% e 0.35%.

### 7.3.3 Acciaio per cemento armato tipo B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento  $f_{y,nom}$  e della tensione a carico massimo  $f_{t,nom}$  da utilizzare nei calcoli [NTC 2018 – Par. 11.3.2.1]:

$$f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

Tra i requisiti richiesti da normativa [NTC 2018 – Tab. 11.3.Ib] sono specificati i due vincoli seguenti in merito ai valori caratteristici delle tensioni.

$$f_{y,k} \geq f_{y,nom}$$

$$f_{t,k} \geq f_{t,nom}$$

Pertanto i valori considerati per le tensioni caratteristiche sono i seguenti:

$$f_{y,k} = f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

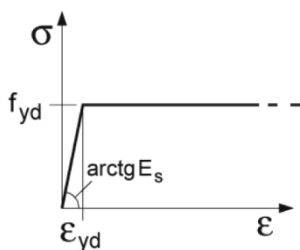
$$f_{t,k} = f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto dell'acciaio  $f_{y,d}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore si ottiene come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2]:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cong 391.3 \text{ MPa}$$

essendo  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Il diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.2]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di elastico perfettamente plastico.



## 7.4 Situazioni progettuali

La normativa [NTD14 – Par. C.8] prevede l'analisi delle seguenti situazioni:

1. In fase costruttiva
2. A termine costruzione e a serbatoio vuoto
3. A serbatoio pieno con il livello alla massima regolazione e, quando significativo, anche a livelli intermedi
4. A serbatoio pieno con il livello al massimo invaso
5. A seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello di massima regolazione al livello di minimo invaso e quando si significativo, anche a livelli intermedi;
6. In presenza di sisma, con il livello alla quota massima di regolazione e, quando sia significativo, anche a livelli intermedi, nonché a serbatoio vuoto.

Per il caso in esame, si sono analizzate le seguenti condizioni:

2. A termine costruzione e a serbatoio vuoto:

Si è analizzata la situazione di invaso sperimentale, con livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

3. A serbatoio pieno con il livello alla massima regolazione e, quando significativo, anche a livelli intermedi:

Nella configurazione di massima regolazione (con bocche aperte) il livello dell'acqua è pari a 46.25 m s.l.m. a monte dello sbarramento e a 44.06 m s.l.m. a valle; tale situazione è quindi sicuramente meno critica rispetto alla configurazione di invaso sperimentale.

Per portate inferiori a  $750 \text{ m}^3/\text{s}$ , tutta la portata defluisce attraverso le bocche con tiranti inferiori ed è quindi meno critica.

Al raggiungimento di  $Q=750 \text{ m}^3/\text{s}$ , le 6 bocche vengono chiuse e si raggiunge un livello a monte dello sbarramento pari a 48.75 m s.l.m. e a un livello a valle di 42.95 m s.l.m. (configurazione  $750 \text{ m}^3/\text{s}$  e bocche chiuse).

Per portate superiori, la differenza di carico tra monte e valle va diminuendo, per cui tali situazioni non sono state analizzate (ad eccezione di quelle relative alla piena duecentennale e millenaria)

4. A serbatoio pieno con il livello al massimo invaso

Per la piena millenaria (massimo invaso) si è assunto un livello di 50.24 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 45.25 a valle.

Per la piena duecentennale si è assunto un livello di 49.83 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 44.53 a valle.

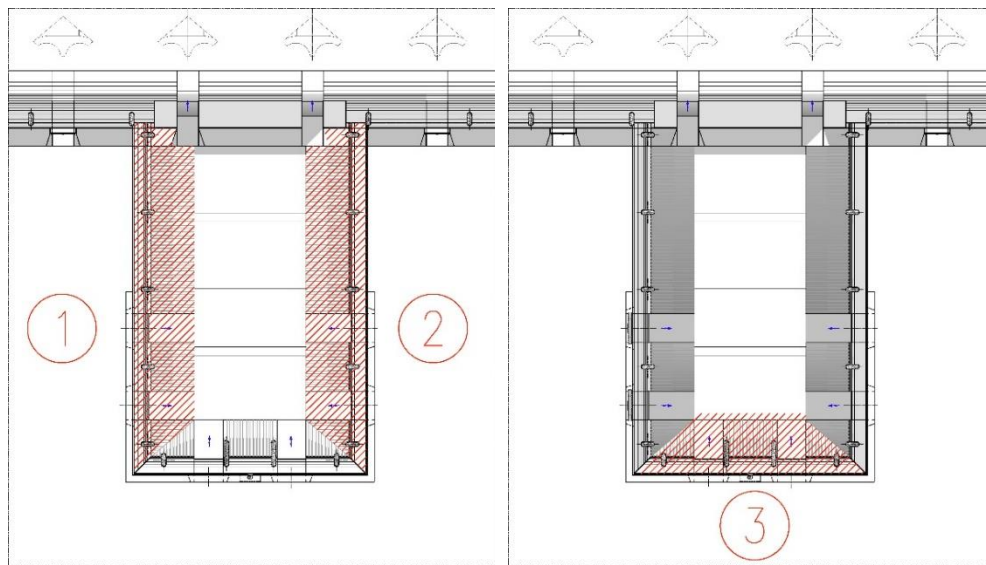
6. In presenza di sisma, con il livello alla quota massima di regolazione e, quando sia significativo, anche a livelli intermedi, nonché a serbatoio vuoto:

Poiché, come visto, la configurazione di massima regolazione risulta meno critica rispetto a quella di invaso sperimentale, le analisi sismiche (SLD e SLC) sono state svolte considerando un livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

Sono state invece omesse le verifiche nelle seguenti situazioni:

1. In fase costruttiva:

Per quanto riguarda il manufatto regolatore in esame, si prevede che la costruzione avvenga nelle seguenti fasi:



- a) costruzione delle porzioni laterali: in questa fase il manufatto non è soggetto a carichi, o, in caso di piena, è soggetto a spinte dell'acqua simmetriche a monte e a valle
- b) costruzione della porzione di monte: in questa fase le bocche delle porzioni già realizzate risultano aperte, e in corrispondenza di quelle del tratto di monte saranno presenti delle tubazioni che permettano il deflusso a valle. La situazione progettuale più critica per questa fase di fatto quindi coincide con la configurazione di massima regolazione con bocche aperte (cfr. punto 3), ovvero con acqua a 46.25 m s.l.m. a monte e 44.06 m s.l.m. a valle
5. A seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello di massima regolazione al livello di minimo invaso e quando sia significativo, anche a livelli intermedi: la procedura di vuotatura di fatto rispecchia quella di riempimento, per cui non si è ritenuto necessario effettuare ulteriori analisi in aggiunta a quelle effettuate per i punti 3. e 4.

## 7.5 Valutazione dell'azione sismica

La valutazione degli effetti riconducibili al sisma è stata condotta mediante un'analisi lineare statica [NTC2018 – Par. 7.3.3.2], cioè in sostanza il sisma è stato rappresentato applicando forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  e la forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7]$$

dove:

$F_h$  =  $S_d(T_1) W \lambda / g$

$F_i$  è la forza da applicare alla massa i-esima;

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j;

$z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j;

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

$W$  è il peso complessivo della costruzione;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se  $T_1 < 2T_C$  e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Il periodo fondamentale di vibrazione della struttura è stato individuato attraverso l'analisi modale svolta con il software SAP2000, ed è pari a  $T_1 = 0.057$  s per il corpo principale dello sbarramento (platea, travi, muri con soglia di sfioro a quota 46.25 m s.l.m.) e a  $T_1 = 0.221$  s per la parte soprastante (pile e impalcato).

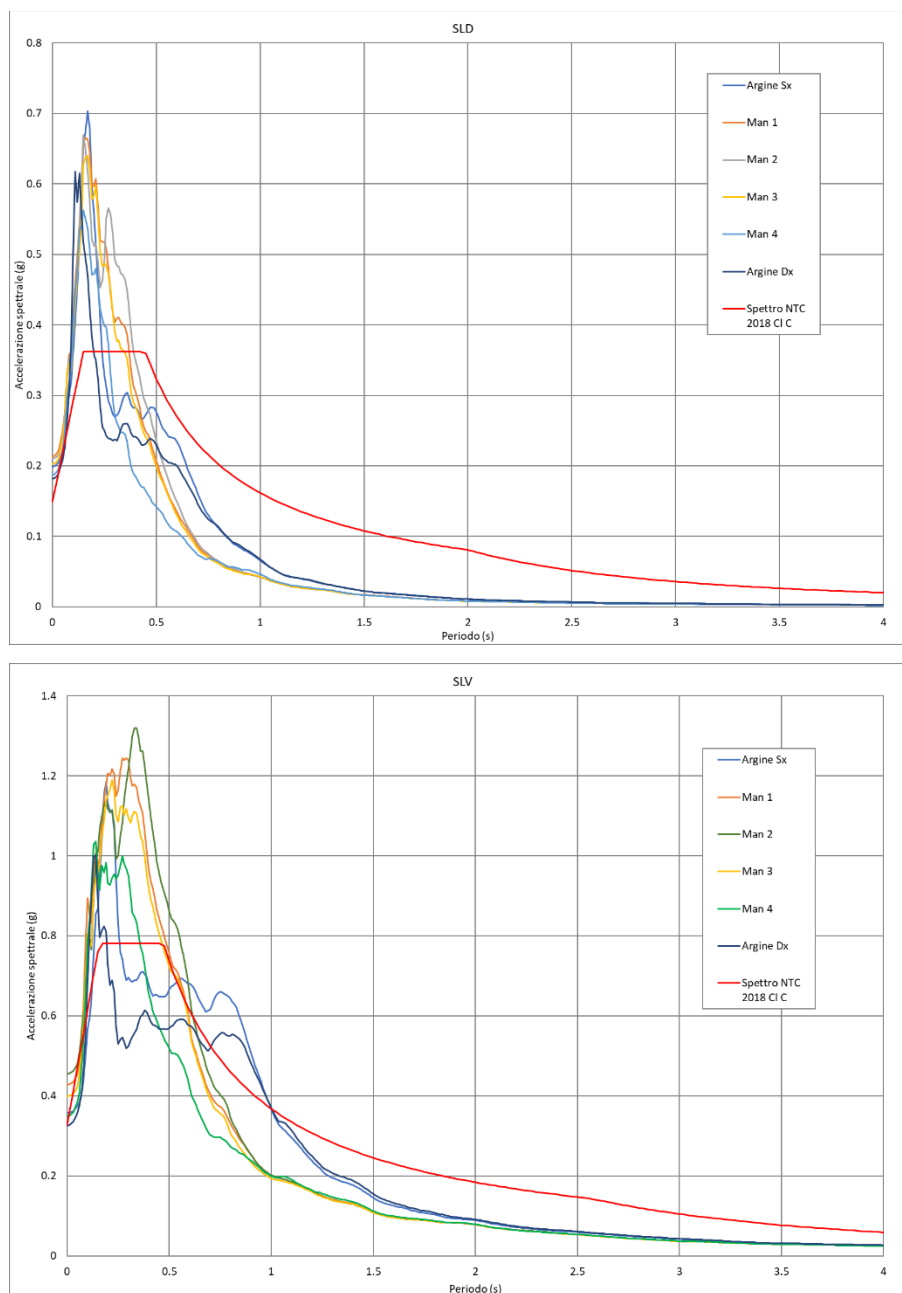
In accordo con quanto previsto dalla normativa [NTD14 – Par. C.6 e Circolare 16790 – Cap. II], le verifiche sismiche sono state svolte per lo SLD e lo SLC, ovvero sono state omesse le verifiche allo SLO e allo SLV in quanto le prestazioni per detti stati limite sono garantite con livelli di azione sismica maggiore.

La risposta sismica è stata caratterizzata a livello locale tramite modellazione bidimensionale effettuata sulla base di una sezione litostratigrafica ricavata a partire da sondaggi effettuati in corrispondenza del manufatto regolatore (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*).

Gli spettri elastici rappresentativi della risposta sismica locale sono mostrati nei seguenti grafici, in cui è riportato anche lo spettro definito da NTC.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

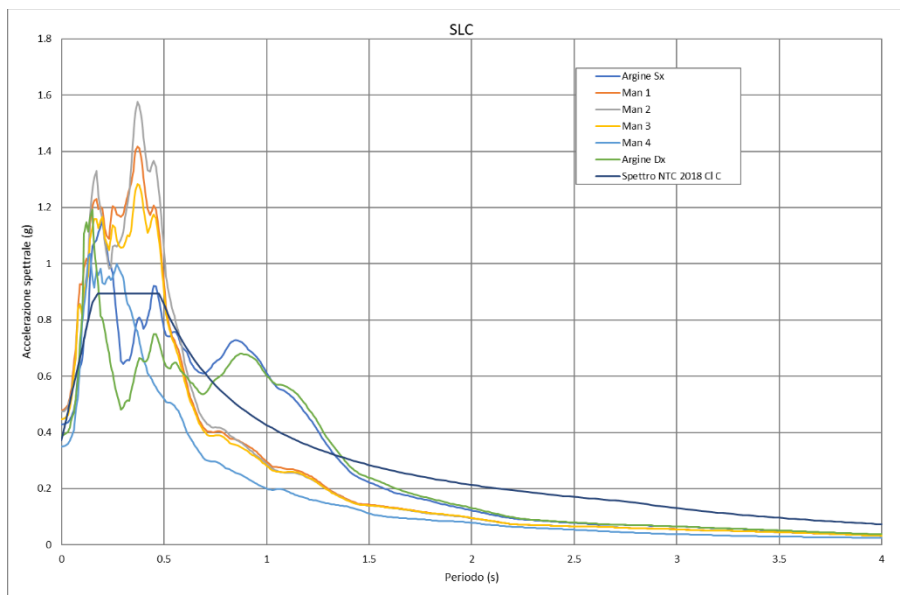
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)





**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



L'entità delle forze statiche equivalenti è stata calcolata come ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  per ciascuno degli spettri di risposta locale e per lo spettro fornito da normativa; il valore assunto per le verifiche è quello massimo tra la media dei valori delle RSL e il valore ottenuto da NTC, ed è evidenziato in giallo nelle tabelle seguenti.

Manufatto $T_1=0.057$ s		Se ( $T_1$ ) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.183	0.230	0.492	0.558
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.247	0.430	0.524

Impalcato $T_1=0.221$ s		Se ( $T_1$ ) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.289	0.361	0.783	0.893
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.471	0.985	1.041

Le azioni inerziali dell'acqua  $p$  sono definite come da normativa [D.M. 26/06/2014 – Par. C.7.7.3.].

$$p = a \cdot r \cdot c \cdot \gamma_0$$

dove:

- $a$  è il valore dell'accelerazione orizzontale massima al sito;
- $r$  è la massa per unità di volume dell'acqua;

- $y_0$  è la differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento.

- $$c = \frac{c_m}{2} \left[ \frac{y}{y_0} \cdot \left( 2 - \frac{y}{y_0} \right) + \sqrt{\frac{y}{y_0} \cdot \left( 2 - \frac{y}{y_0} \right)} \right]$$

essendo:

- $y$  è la differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione  $p$ ;
- $c_m = -0.0073 \cdot a + 0.7412$  in cui  $a$  è l'angolo di inclinazione del paramento rispetto alla verticale espresso in gradi sessagesimali.

## 7.6 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

Oltre al peso proprio dello sbarramento e degli elementi portanti dell'impalcato (automaticamente calcolato dal software SAP2000), sono stati considerati i seguenti carichi:

➤ **PESO PROPRIO DELLA SOLETTA IN C.A.**

Il peso della soletta è calcolato automaticamente dal software in quanto nella definizione della sezione delle travi si è considerata una sezione equivalente già comprensiva dello spessore della soletta.

➤ **PESO PROPRIO MANTO STRADALE**

E' stato considerato applicando ad ogni trave da ponte il carico uniformemente distribuito  $p_{manto\_stradale}$  definito come segue:

$$p_{manto\_stradale} = s \cdot B \cdot c \cong 3.7 \text{ kN/m}$$

dove:

- $s = 0.13 \text{ m}$  è lo spessore del manto stradale;
- $B = 2.2 \text{ m}$  è la larghezza della porzione di manto stradale pertinente a ciascuna trave;
- $c = 13 \text{ kN/m}^3$  è il peso per unità di volume del bitume.

➤ **PESO PROPRIO GUARDRAIL**

La presenza del guardrail è stata considerata applicando un carico uniformemente distribuito  $p_{guardrail} = 0.4 \text{ kN/m}$  (conservativo) lungo le travi esterne dell'impalcato.

➤ **LOCALE SERVIZI**

Il volume del locale servizi è pari a circa 60 mc, a cui corrisponde un peso di circa 1400 kN; a tale peso si è aggiunto un carico distribuito all'interno del locale stesso pari a 6 kN/m<sup>2</sup> [NTC2018 - Tab. 3.1.II - Cat. E1]; il carico totale trasmesso dal locale servizi alle due travi sottostanti è quindi pari a 1658 kN. Poiché tale carico agisce su una porzione delle travidi lunghezza pari a circa

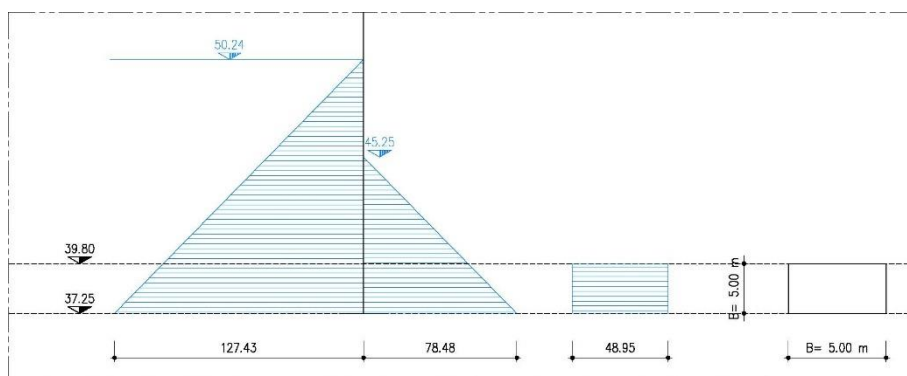
11m il carico agente su ciascuna trave è pari a

$$p_{locale\ servizi} = \frac{P}{2 \cdot L} \cong 75.4 \text{ kN/m}$$

#### ➤ SPINTE DELL'ACQUA

Le spinte dell'acqua sono state analizzate nelle configurazioni descritte al paragrafo 7.4.

Nelle configurazioni con bocche chiuse, si sono considerate le spinte trasmesse dalle paratoie alla struttura applicando sul perimetro di battuta carichi distribuiti valutati in accordo con lo schema seguente (che riporta, a titolo esemplificativo, il calcolo relativo alla piena millenaria).



$$P = 48.95 \frac{\text{kN}}{\text{mq}} \cdot B \cdot H \cong 48.95 \cdot 6.70 \cdot 4.50 = 1476 \text{ kN}$$

$$q = \frac{P}{B + 2 \cdot H} \cong 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

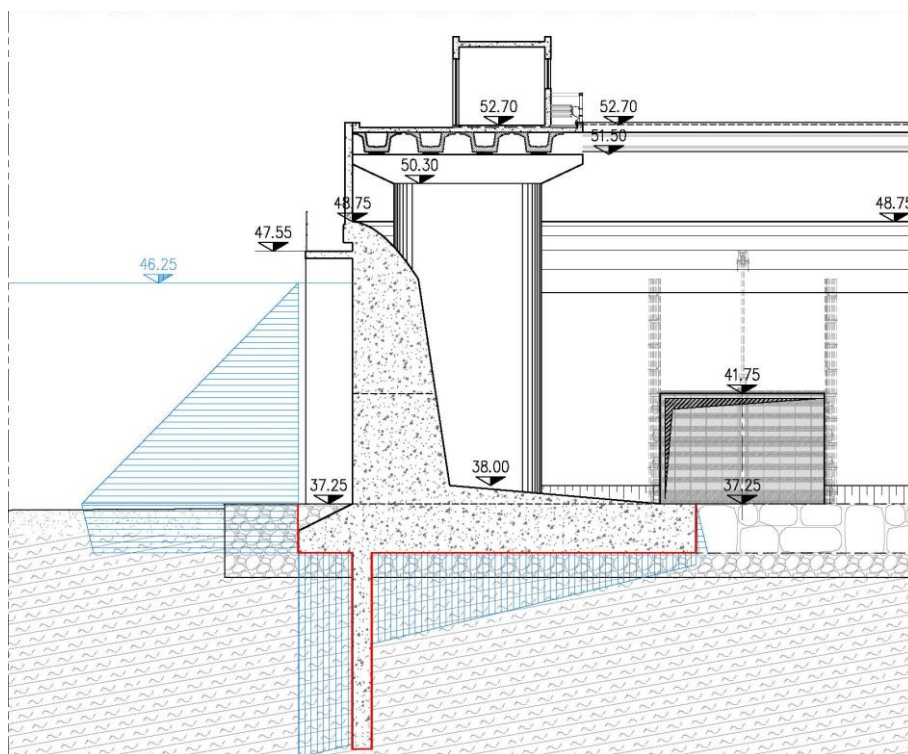
(da applicare sui lati verticali e su quello superiore del perimetro rettangolare)

#### ➤ SOTTOSPINTE

Per il calcolo delle sottospinte si è considerato che la differenza di carico tra monte e valle venga dissipata linearmente (cfr. R03 – Relazione idraulica) lungo il percorso evidenziato in rosso nella figura seguente. Per la configurazione di invaso sperimentale (visibile nell'immagine) si è assunto che la quota di falda a valle coincida con la quota del piano campagna.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### ➤ MEZZI E PERSONE SULL'IMPALCATO

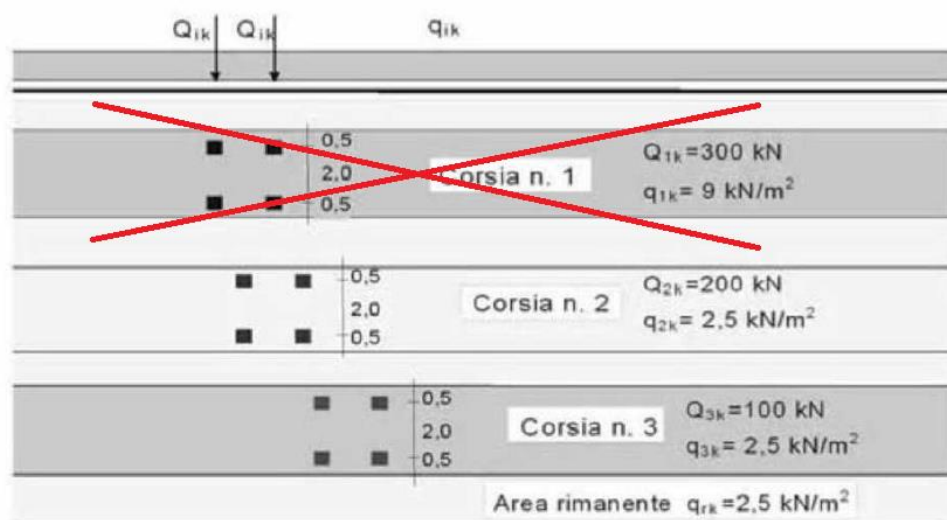
Si specifica innanzitutto che l'impalcato in progetto non è riconducibile ad un ponte stradale, in quanto su di esso si prevede la presenza di una strada privata, con permesso di accesso ai soli mezzi autorizzati, che dovranno peraltro rispettare limitazioni di carico.

Per questa ragione non si è ritenuto necessario considerare in maniera puntuale e sistematica gli schemi di carico definiti dalla normativa [NTC 2018 – Par. 5.2.3.3.3].

Piuttosto, la situazione maggiormente critica è stata valutata con riferimento allo schema di carico 1, ma trascurando la presenza del mezzo che genera un carico di 300 kN per asse (il transito di veicoli tanto pesanti sull'implacato sarà vietato e impedito).

In definitiva è stata considerata la presenza di due veicoli parzialmente affiancati, con assi posteriori allineati in corrispondenza della mezzzeria delle

travi. Cautelativamente si è assunto che su ciascuna corsia sia presente un mezzo da 400 kN.



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

La distanza tra l'asse anteriore e quello posteriore è assunta pari a 7 m per entrambi i veicoli. Il carico distribuito è applicato su ogni trave tenendo conto che ognuna ha una larghezza di pertinenza  $B$  pari a 2.2 m.

$$q_{k,trave} = q_k \cdot B = 5.5 \text{ kN/m}$$

#### ➤ FORZE INERZIALI DOVUTE AL SISMA

Le forze inerziali dovute al sisma (SLD e SLC) sono state applicate con le procedure e le accelerazioni descritte al paragrafo 7.5

#### ➤ SOVRASPINTA SISMICA DELL'ACQUA

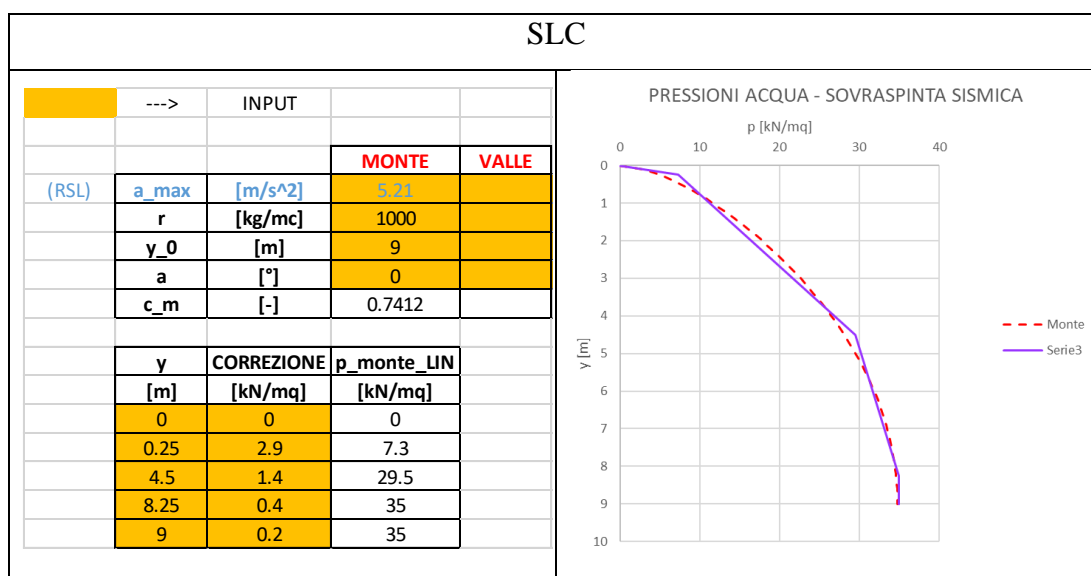
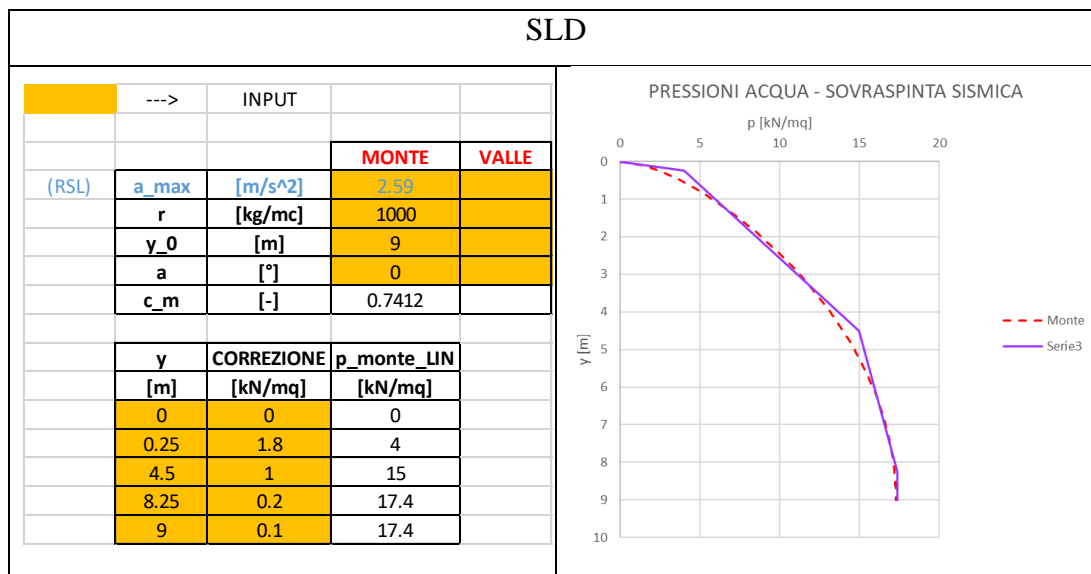
Come mostrato nella figura seguente, l'andamento delle sovra-pressioni è stato opportunamente linearizzato in maniera tale che potesse essere definito in SAP2000.

L'accelerazione orizzontale massima al sito è stata calcolata a partire dalla media dei picchi degli spettri di risposta sismica locale  $S_{e,max}$ , divisa per il valore del fattore di amplificazione dello spettro orizzontale  $F_0$  (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*):

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

SLD		SLC	
$S_{e,max} [g]$	0.64	$S_{e,max} [g]$	1.28
$F0 [-]$	2.433	$F0 [-]$	2.40
$a_{max} [\frac{m}{s^2}]$	2.59	$a_{max} [\frac{m}{s^2}]$	5.21





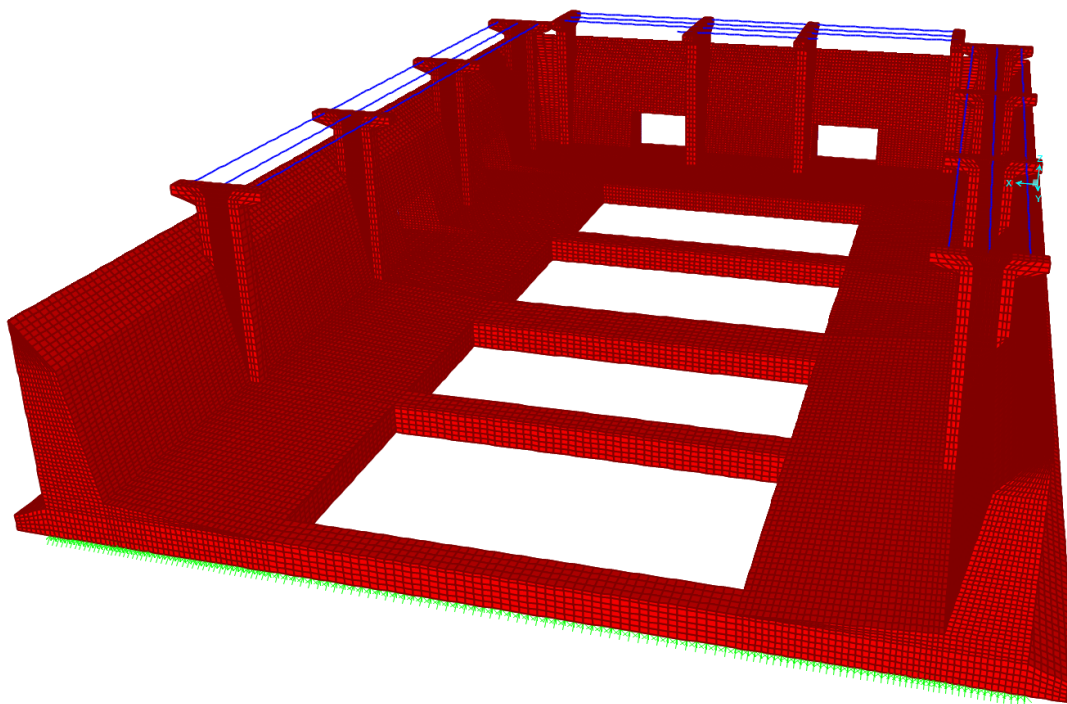
Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 5.1.3.14, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

COMBINAZIONI	SITUAZIONE PROGETTUALE	PESO PROPRIO	MANTO STRADALE/GUARDRAIL/LOCALE SERVIZI	SPINTE ACQUA	SOTTOSPINTA	AZIONI VARIABILI CONCENTRATE SULL'IMPALCATO	AZIONI VARIABILI DISTRIBUITE SULL'IMPALCATO	SISMA
ECCEZIONALE	T1000	1	1	1	1	-	-	-
ECCEZIONALE	T200	1	1	1	1	-	-	-
SLU FONDAMENTALE	Invaso sperimentale	1.3	1.3	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	Invaso sperimentale	1	1	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	Invaso sperimentale	1	1	1	1	-	-	-
SLU FONDAMENTALE	750 m3/s e bocche chiuse	1.3	1.3	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	-	-	-
SISMICA SLC	Invaso sperimentale	1	1	1	1	-	-	1
SISMICA SLD	Invaso sperimentale	1	1	1	1	-	-	1

Gli effetti dell'evento sismico sono stati ottenuti considerando l'involuppo degli effetti dovuti ad accelerazioni caratterizzate da direzioni x ed y e versi opposti [NTC 2018 – Par. 7.3.5.].

## 7.7 Modellazione e risultati dell'analisi

Il manufatto è stato modellato come segue.



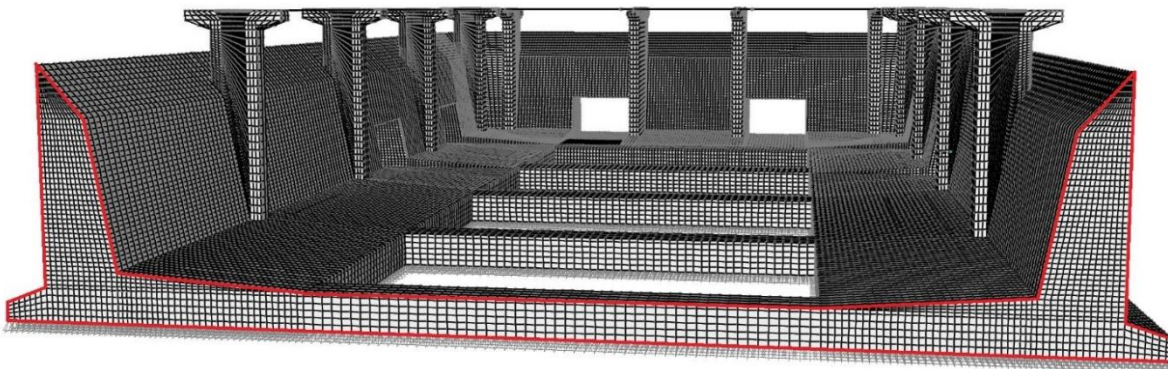
Viste le caratteristiche del manufatto, si è ritenuto che il modello dovesse essere concepito sulla base di elementi tridimensionali, detti “solid”, che consentono tra le altre cose uno studio approfondito e sistematico dello stato di sforzo all'interno della struttura.

Come per lo sbarramento esistente, anche in questo caso è risultata di particolare interesse la valutazione delle tensioni di trazione nel calcestruzzo: sulla base dei risultati generati dal modello è stato infatti possibile valutare se fosse necessario o meno prevedere la presenza di barre di armatura per garantire la resistenza degli elementi strutturali in progetto.

La presenza dei diaframmi è stata rappresentata per mezzo di vincoli di appoggio rigido, mentre l'interazione suolo-terreno è stata simulata applicando all'intradosso della platea di fondazione molle alla Winkler.

A circa 31 m dal lembo di valle del manufatto (ovvero a valle della terza pila del lato maggiore del manufatto, contando da monte), è presente il giunto strutturale, visibile negli elaborati grafici tra cui, a titolo esemplificativo, la tavola A.5.2.

Si specifica che non è stato definito alcun vincolo in corrispondenza del giunto strutturale di collegamento allo sbarramento esistente. Questo perché si prevede che il giunto venga dimensionato in maniera tale da non trasmettere alcuna sollecitazione, né in condizioni statiche né in condizioni sismiche. Il perimetro della superficie lungo la quale è prevista l'installazione del giunto strutturale è evidenziato in rosso nella figura seguente.



Nel seguito si riportano i diagrammi maggiormente significativi al fine di valutare l'entità degli sforzi normali di trazione nel calcestruzzo agli SLU e agli SLE.

Si riportano unicamente i risultati relativi alle combinazioni sismiche SLC e SLD (involuppi) in quanto risultano sempre più critici rispetto alla combinazione eccezionale e a quelle SLU/SLE.

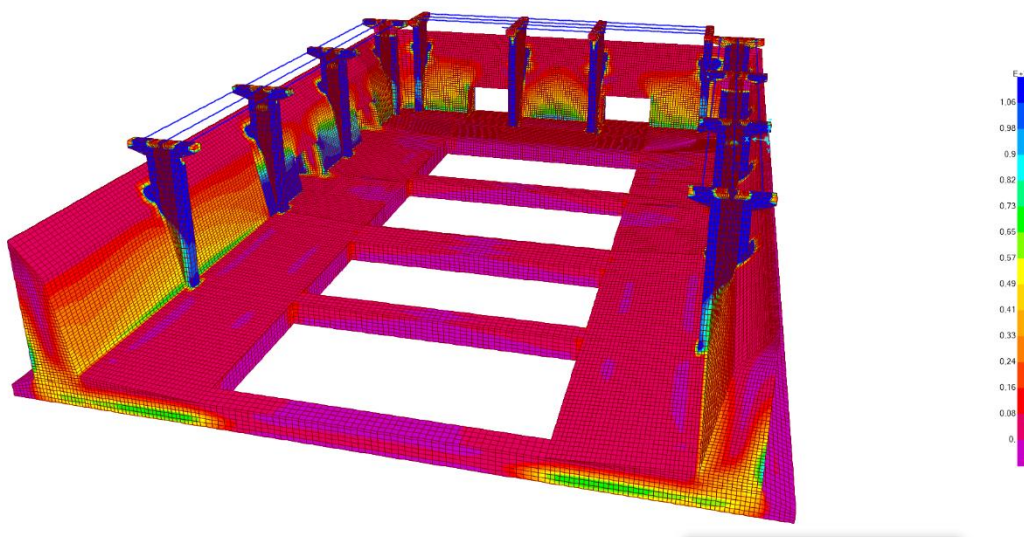


### 7.7.1 Risultati SLU

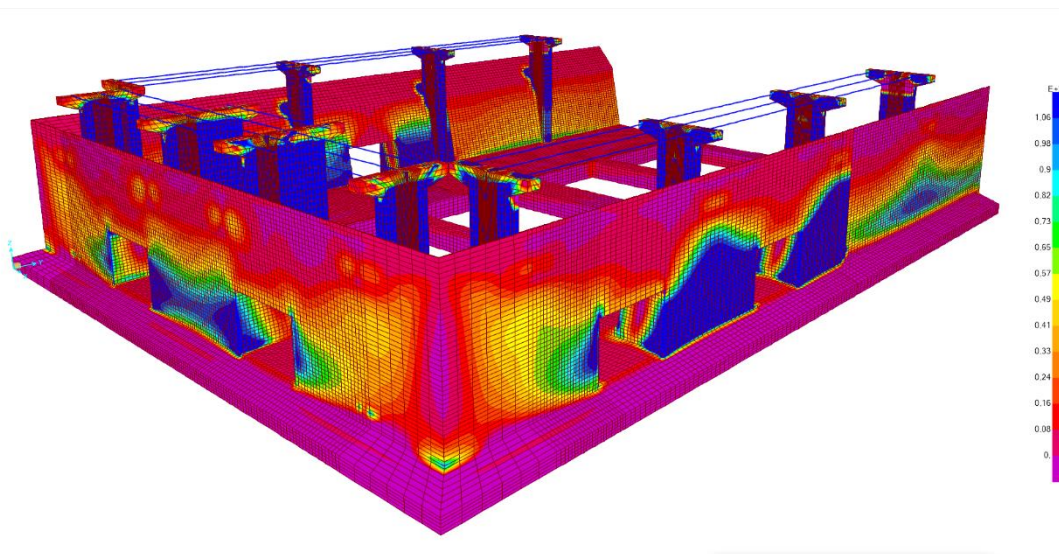
Per quanto riguarda gli Stati Limite Ultimi, i valori più elevati delle trazioni nel cls si ottengono considerando gli sforzi normali verticali generati da combinazione SISMICA SLC, riportati di seguito. I valori in legenda sono espressi in  $\text{kN/m}^2$ .

Per semplicità di lettura si è posto il limite superiore della scala di colori pari alla resistenza a trazione del calcestruzzo; le zone blu nelle figure seguenti sono quindi quelle dove risulta necessario predisporre idonea armatura.

#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

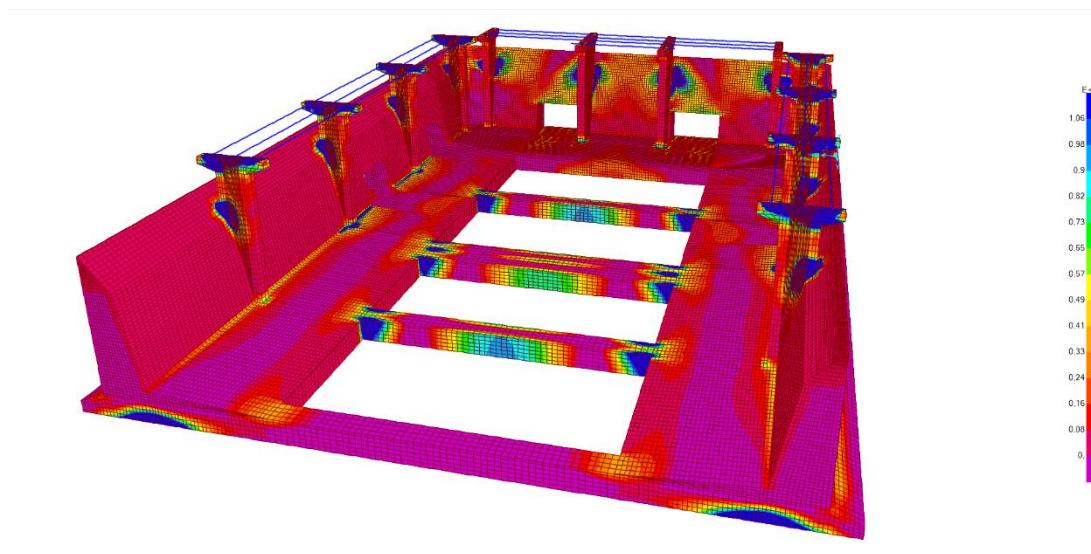


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

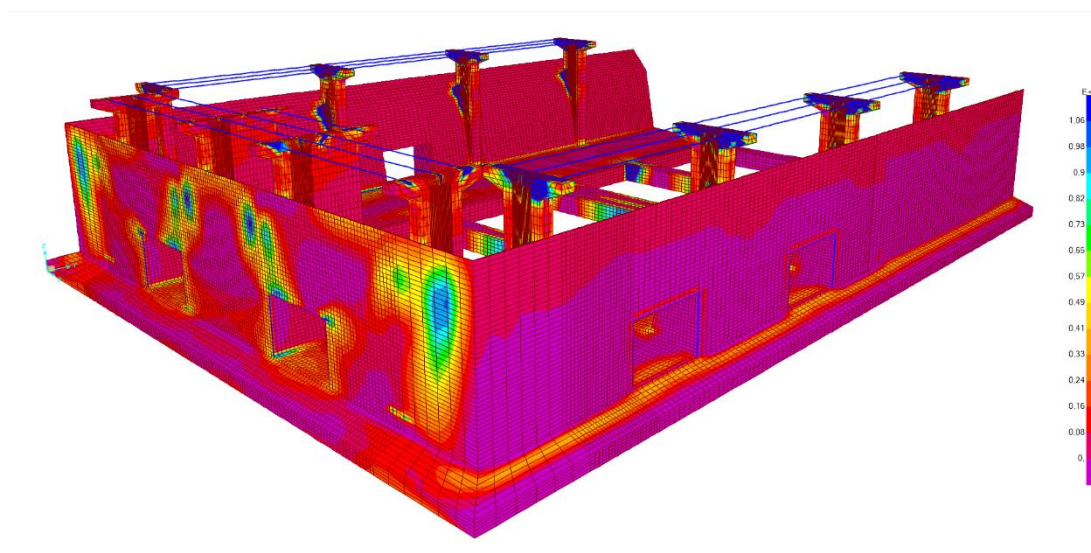
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Per completezza si riportano di seguito anche i diagrammi degli sforzi orizzontali, sempre in combinazione SISMICA SLC. Si tenga presente che gli sforzi S11 sono quelli normali paralleli al lato corto dello sbarramento, mentre gli sforzi S22 sono paralleli al lato lungo.

#### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



#### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

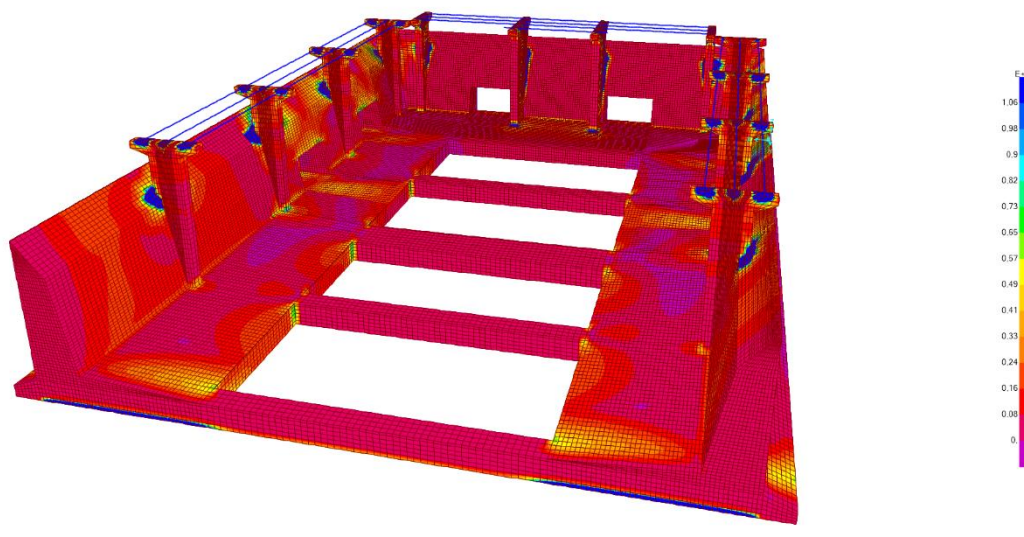




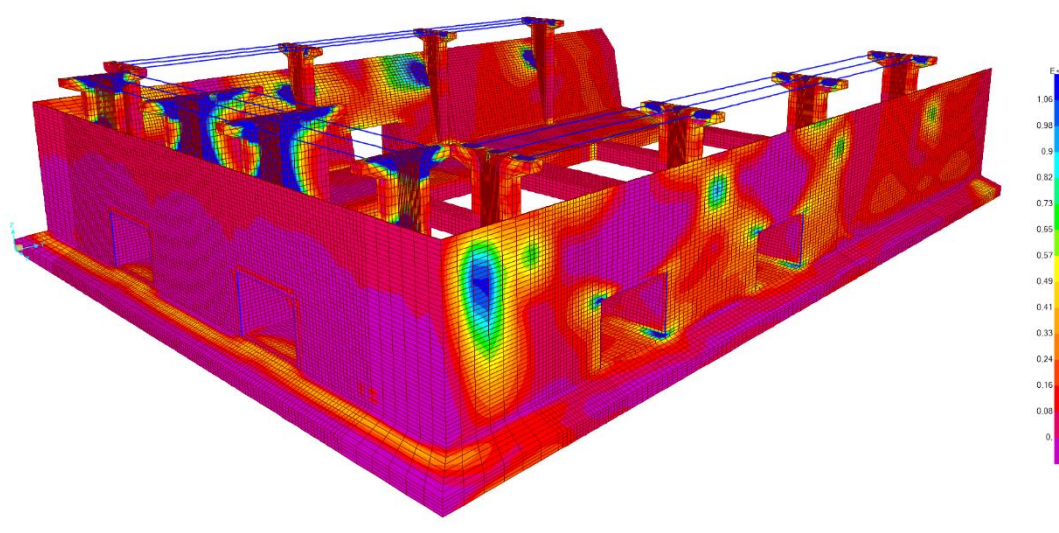
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE

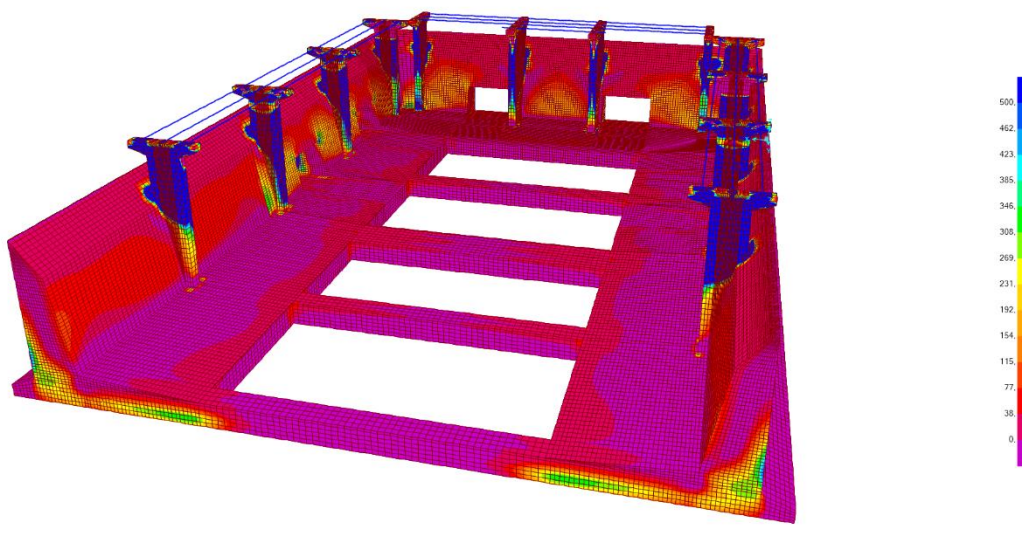


### 7.7.2 Risultati SLE

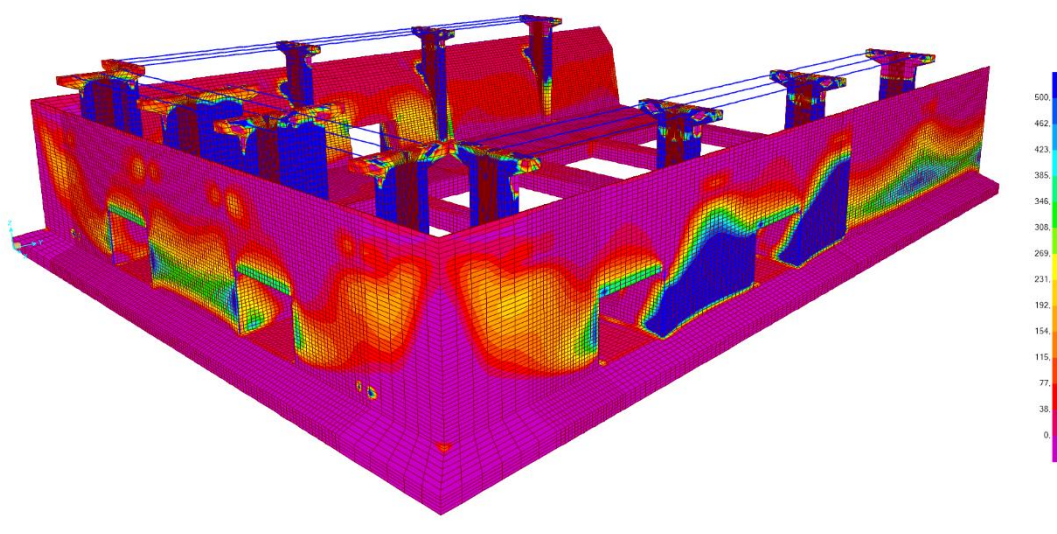
Per quanto riguarda gli Stati Limite di Esercizio, i valori più elevati delle trazioni nel cls si ottengono considerando gli sforzi normali verticali generati da combinazione SISMICA SLD, riportati di seguito. I valori in legenda sono espressi in  $\text{kN/m}^2$ .

Per semplicità di lettura si è posto il limite superiore della scala di colori pari al limite previsto da normativa [D.M. 26/06/2014 – Par. D.2.2.2]; le zone blu nelle figure seguenti sono quindi quelle dove risulta necessario predisporre idonea armatura.

#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



#### SFORZI S33 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE



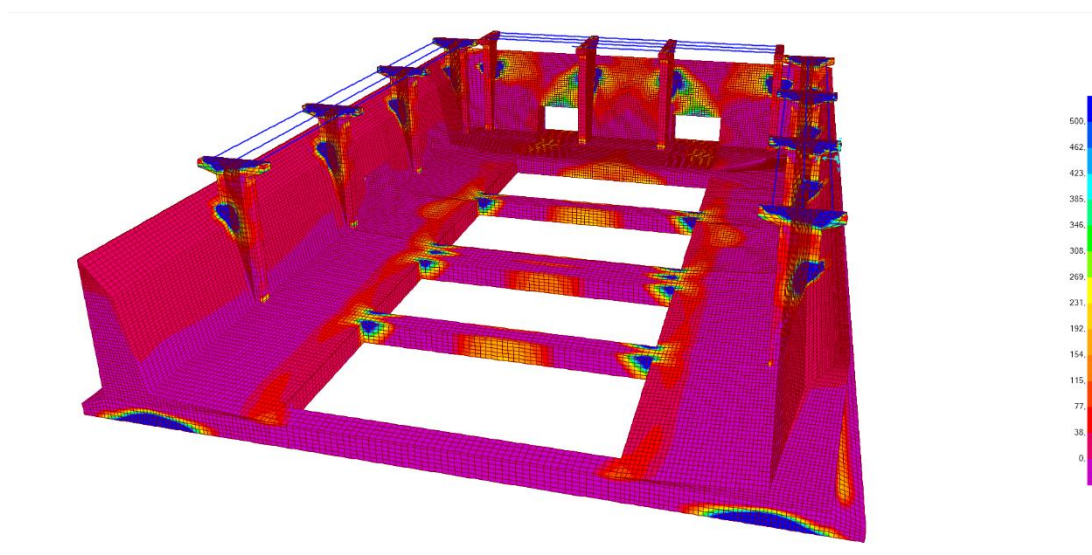


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

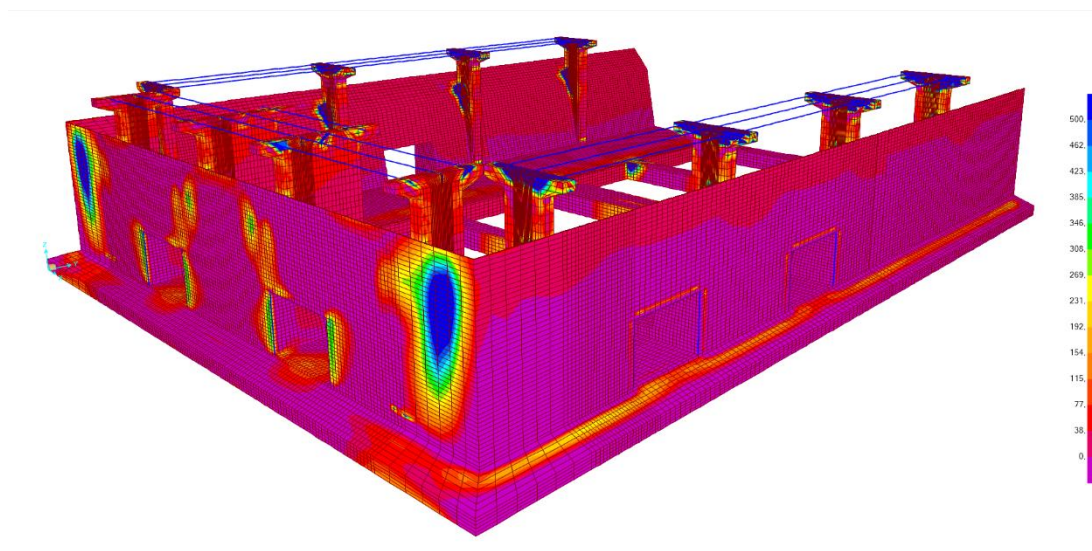
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Per completezza si riportano di seguito anche i diagrammi degli sforzi orizzontali, sempre in combinazione SISMICA SLD. Si tenga presente che gli sforzi S11 sono quelli normali paralleli al lato corto dello sbarramento, mentre gli sforzi S22 sono paralleli al lato lungo.

#### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



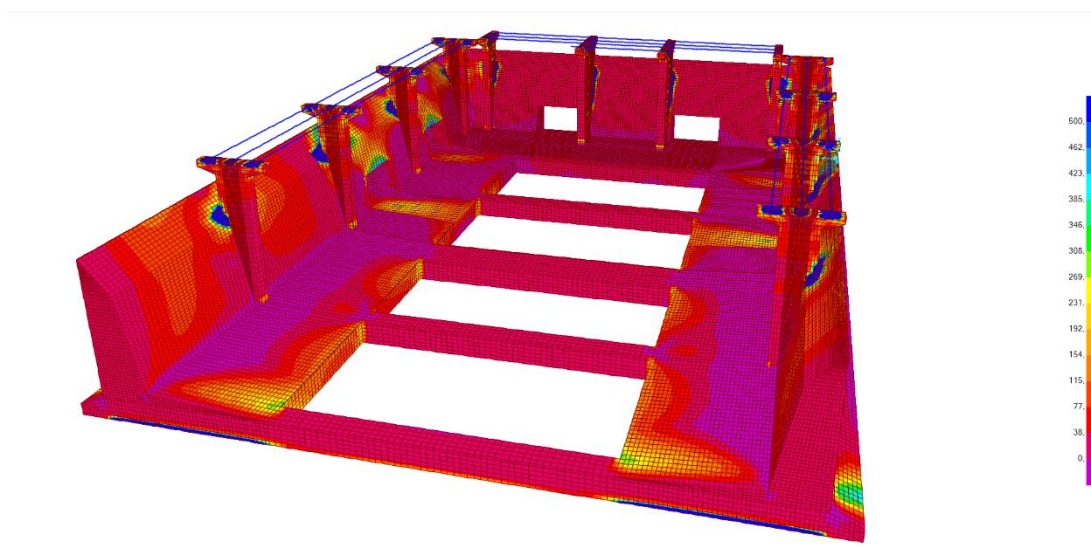
#### SFORZI S11 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE



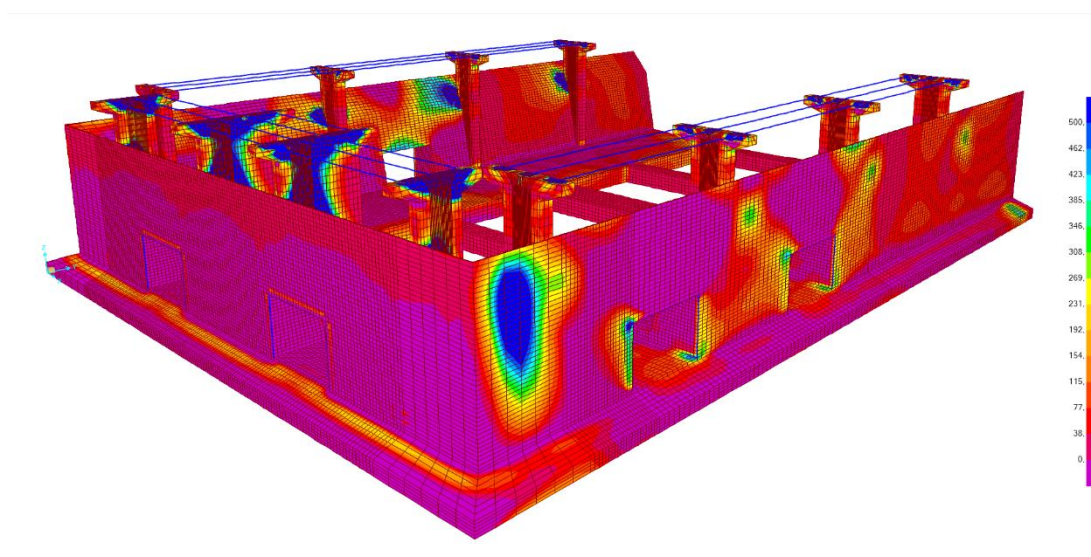
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA VALLE



### SFORZI S22 – COMBINAZIONE SISMICA - VISTA DA MONTE



## 7.8 Verifiche effettuate

Come si evince, gli sforzi di trazione agli SLU si attestano in molte porzioni di struttura su valori di fatto superiori alla resistenza a trazione del calcestruzzo  $f_{ctd} \cong 1.06 \text{ MPa}$ , per cui risulta necessario predisporre idonee armature. Il predimensionamento dei principali elementi costituenti il manufatto di regolazione è riportato ai paragrafi successivi.

Relativamente agli SLE, i limiti massimi delle trazioni sono assunti in coerenza con quanto previsto dalla normativa per le dighe a gravità [D.M. 26/06/2014 – Par. D.2.2.2]:

- COMBINAZIONE SLE RARA  $\rightarrow \sigma_t \leq 0.21 \cdot f_{ctm} \cong 0.5 \text{ MPa}$
- COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE  $\rightarrow \sigma_t = 0 \text{ MPa}$  (*stato limite di decompressione*)

Come si evince, anche gli sforzi di trazione agli SLE sono in molti casi superiori a tale soglia.

Per i principali elementi costituenti il manufatto sono quindi state effettuate le seguenti verifiche in accordo con la normativa:

- RESISTENZA FLESSIONALE (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.4];
- RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.5];
- FESSURAZIONE (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.2];
- TENSIONI DI ESERCIZIO (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.5].

In particolare il predimensionamento è stato svolto per le seguenti porzioni di manufatto:

- lato lungo del manufatto – tratto a valle del giunto: muro e platea
- lato lungo del manufatto – tratto a monte del giunto: muro e platea
- lato corto del manufatto: muro e platea
- pile (di larghezza 3 e 6 m)
- travi di contrasto

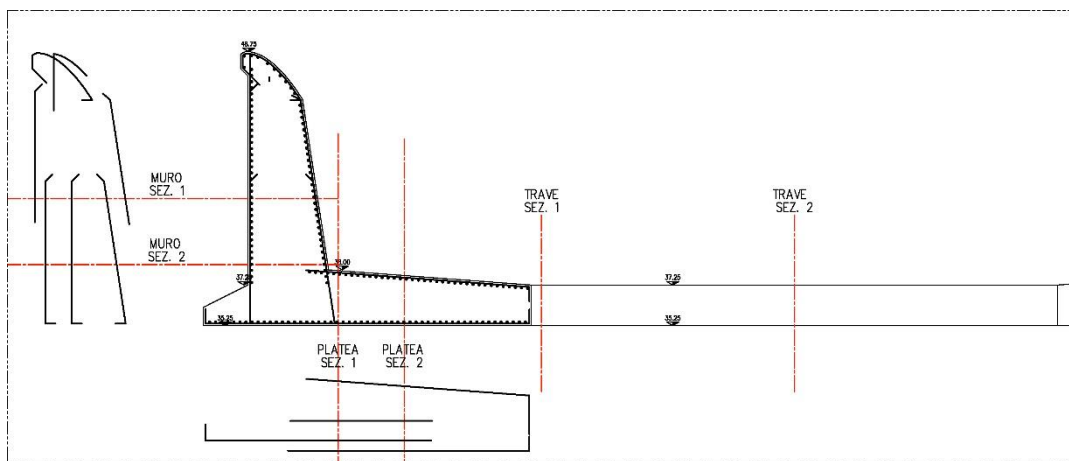


- diaframmi

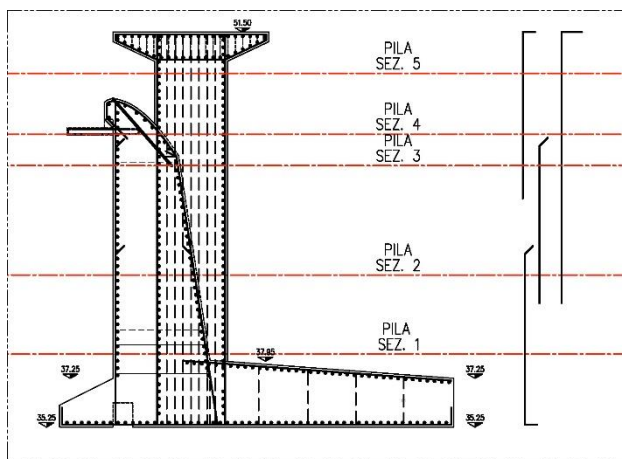
Il dimensionamento è stato effettuato considerando le porzioni maggiormente sollecitate di ciascuno dei tratti considerati; per ciascuna di queste porzioni sono state estratte dalla modellazione SAP le risultanti degli sforzi agenti (Momento e taglio) su diverse sezioni di larghezza unitaria, visibili nelle immagini seguenti.

Sono state considerate tutte le combinazioni inserite nella modellazione, ma nella quasi totalità dei casi quelle dimensionanti risultano essere le combinazioni sismiche SLC e SLD.

Per i muri, la platea e le travi (sia lato lungo, sia lato corto):



Per le pile:



Di seguito si riportano le massime sollecitazioni ottenute per ciascuna delle porzioni analizzate e le relative verifiche.

### 7.8.1 Lato lungo – tratto a valle del giunto

Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ottenuti per ciascuna delle sezioni descritte in precedenza (di larghezza unitaria), utilizzati per il predimensionamento.

MURO			
SEZ 1 (sp. 398 cm)			
	Momento positivo tende fibre interne (valle)		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	1871.96	-3330.61	761.83
SLE	Med (+)	Med (-)	
	581.47	-1778.61	
SEZ 2 (sp. 345 cm)			
	Momento positivo tende fibre interne (valle)		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	1106.67	-1591.97	520.45
SLE	Med (+)	Med (-)	
	403.42	-817.37	
PLATEA			
SEZ 1 (sp. 271 cm)			
	Momento positivo tende fibre sopra		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	614.49	-3840.24	1054.91
SLE	Med (+)	Med (-)	
	-489.36	-2504.95	
SEZ 2 (sp. 247 cm)			
	Momento positivo tende fibre sopra		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	207.73	-939.26	535.92
SLE	Med (+)	Med (-)	
	-80.56	-598.91	

Di seguito sono riportate le verifiche svolte agli SLU e agli SLE; poiché le armature previste non sono simmetriche, per ciascuna porzione sono presentate due distinte

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

verifiche a flessione e agli SLE, e una sola verifica a taglio (riportata per comodità nel primo paragrafo di ciascuna porzione).

### 7.8.1.1 Muro – Sez. 1 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>3330.61</b>	<b>0.00</b>	<b>761.83</b>
<b>RARA</b>	<b>1778.61</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1778.61</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1778.61</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 1 (sp. 398 cm) - M- (fibre tese monte)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_c =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2,25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	2.38	MPa
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata

coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa
$\gamma_s =$	1.15	
$E_s =$	210'000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	398	cm
d' =	5	cm
d =	393	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	761.83	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 617.92 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.23 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0006 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 39800 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 850.13 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.216$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 850.13 \text{ kN} > V_{Ed} = 761.83 \text{ kN}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	3'330.61	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 608 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519x^2 + 25'727x - 46'566'257 &= 0 \\ x &= 6.86 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 199.33 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	3527.74	kNm	>	$M_{Ed} =$	3'330.61	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'778.61	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.55				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	35.81	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	47.32	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	45'354'435	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.86	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	203.34	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1778.61	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.55$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 35.81 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} = 47.32 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 45'354'435 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 203.34 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00071 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00058$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 116.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.36 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.249 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.86 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 203.34 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'778.61	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.55				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	35.81	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	47.32	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	45'354'435	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 203.34 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00071 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00058$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 116.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.36 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.249 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.1.2 Muro – Sez. 1 (M+)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1871.96</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>581.47</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>581.47</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>581.47</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 1 (sp. 398 cm) - M+ (fibre tese valle)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	358	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	393	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'871.96	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'428 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & \quad x^2 & + & \quad 1'205'190 & \quad x & - & 85'050'767 & = & 0 \\ x & = & 5.05 & \text{ cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 6.70 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1937.74	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'871.96	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	581.47	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.83				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	35.81	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			34.09	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$			26'097'991	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.76	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	119.95	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	581.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	3	$\Phi 22 =$	23.14 cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+		$\Phi =$	12.67 cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.83$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 35.81 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 34.09 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 26'097'991 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 119.95 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00012 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00034$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 121.30 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.185 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 0.76 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 119.95 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	581.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.83				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	35.81	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			34.09	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			26'097'991	cm <sup>4</sup>	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 119.95 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00012 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00034$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 121.30 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.185	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.400	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.1.3 Muro – Sez. 2 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1591.97</b>	<b>0.00</b>	<b>520.45</b>
<b>RARA</b>	<b>817.37</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>817.37</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>817.37</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 2 (sp. 345 cm) - M- (fibre tese monte)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa

*coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210'000	MPa

*coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio*

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	340	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	520.45	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 465.32 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.24 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0004 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 34'500 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 750.79 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.221$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 750.79 \text{ kN} > V_{Ed} = 520.45 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'591.97	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\text{armatura compressa in campo elastico} \\ &\text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 854 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & \quad x^2 & + & \quad 127'624 & \quad x & - & 31'172'453 & = & 0 \\ x & = & 5.09 & \text{ cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 13.20 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1674.98	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'591.97	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	817.37	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.67				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	21.15	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$				33.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				19'211'184	cm <sup>4</sup>

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.41	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	195.87	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	817.37	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.67$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 21.15 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 33.09 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 19'211'184 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 195.87 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00048 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00056$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 103.97 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 172.50 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.010$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.300 \text{ mm} \geq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.41 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 195.87 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	817.37	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.67				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	21.15	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			33.09	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			19'211'184	cm <sup>4</sup>	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 195.87 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00048 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00056$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 103.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### 7.8.1.4 Muro – Sez. 2 (M+)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1106.67</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>403.42</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>403.42</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>403.42</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 2 (sp. 345 cm) - M+ (fibre tese valle)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	340	cm
d' =	5	cm
d =	340	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'106.67	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'182 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & \quad x^2 & + & \quad 599'409 & \quad x & - & 46'566'257 & = & 0 \\ x & = & 4.52 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -77.73 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1125.34	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'106.67	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	403.42	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.49				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	21.15	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	26.73	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	13'212'913	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.82	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	143.47	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	403.42	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.49$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 21.15 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 26.73 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 13'212'913 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 143.47 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00002 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00041$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 106.09 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 62.09 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.255 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 0.82 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 143.47 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	403.42	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.49				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	21.15	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	26.73	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	13'212'913	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 143.47 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00002 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00041$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 106.09 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 62.09 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.255 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.1.5 Platea – Sez. 1 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>3840.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1054.91</b>
<b>RARA</b>	<b>2504.95</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>2504.95</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>2504.95</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 1 (sp. 271 cm) - M- (fibre tese inferiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	266	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

**Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio**

$V_{Ed, base} =$	1'054.91	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d =$	631.87	kN
--	--------	----

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.27 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0018 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 27 * 100 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d =$	609.98	kN
--	--------	----

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.229$$

$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) =$	631.87	kN	<	$V_{Ed} =$	1'054.91	kN
---------------------------------------	--------	----	---	------------	----------	----

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

$$\begin{aligned} \Phi &= 16 \\ s &= \text{passo } 100 \quad \text{cm} \\ n^{\circ} \text{ bracci} &= 3.33 \\ A_{s,w} &= 6.702 \quad \text{cm}^2 \\ \alpha &= \text{angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave} \\ \alpha &= 45.00^{\circ} = 0.79 \text{ rad} \\ \cot \alpha &= 1.00 \quad \sin \alpha = 0.71 \end{aligned}$$

$$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

$$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) = 30.704 \quad \rightarrow \quad \cot \theta = 2.500$$

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha = 1553.82 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 6794.69 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 1553.82 \text{ kN} > V_{Ed} = 1'054.91 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	3'840.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = -531 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + -1'257'409 x - 31'172'453 &= 0 \\ x = 15.34 \text{ cm} &> x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 495.50 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	4888.84	kNm	>	$M_{Ed} =$	3'840.00	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	2'504.95	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	0.18				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	56.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	54.13	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	37'958'606	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.57	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	209.72	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	2'504.95	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.18				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	56.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	54.13	cm			
$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 =$	37'958'606	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 209.72 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00086 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00060$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 72.29 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 135.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.038 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 28.49 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} =$	0.244	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} =$	3.57	MPa	$<$	$0.45 \cdot f_{ck} =$	9.34	MPa
--	------	-----	-----	-----------------------	------	-----

$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} =$	209.72	MPa	$<$	$0.8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	----------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	2'504.95	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.18				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	56.55	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	54.13	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	37'958'606	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 209.72 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00086 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00060$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 72.29 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 135.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.038 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 28.49 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.244 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.1.6 Platea – Sez. 1 (M+)

Agli stati limite di esercizio, la sezione è soggetta unicamente a momenti negativi, per cui viene svolta unicamente la verifica agli SLU.

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>614.49</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>0.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>0.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>0.00</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 1 (sp. 271 cm) - M+ (fibre tese superiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	25.00	MPa	
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	20.75	MPa	
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	11.76	MPa	
α <sub>cc</sub> =	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
γ <sub>C</sub> =	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	28.75	MPa	
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.27	MPa	
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.59	MPa	
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.06	MPa	
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.38	MPa	
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa	
γ <sub>S</sub> =	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
E <sub>S</sub> =	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	271	cm
d' =	5	cm
d =	266	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	614.49	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$\epsilon_c = \epsilon_{cu} =$	0.0035		
$\sigma'_s < f_{yd}$			armatura compressa in campo elastico
$\sigma_s = f_{yd} =$	391.30	MPa	armatura tesa alla tensione $f_{yd}$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 2'567 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$9'519 x^2 + 3'200'962 x - 176'643'901 = 0$$

$$x = 4.83 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -26.51 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	880.05	kNm	>	$M_{Ed} =$	614.49	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.1.7 Platea – Sez. 2 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>939.26</b>	<b>0.00</b>	<b>535.92</b>
<b>RARA</b>	<b>598.91</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>598.91</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>598.91</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 2 (sp. 247 cm) - M- (fibre tese inferiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	242	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	535.92	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 384.36 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.29 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0005 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 24700 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 563.64 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.233$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 563.64 \text{ kN} > V_{Ed} = 535.92 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	939.26	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 854 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & \quad x^2 & + & \quad 127'624 & \quad x & - & 31'172'453 & = & 0 \\ x & = & 5.09 & \text{ cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 13.20 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1189.07	kNm	>	$M_{Ed} =$	939.26	kNm
------------	---------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	598.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.67				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	21.15	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			27.53	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			9502639	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.74	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	202.76	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	598.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.67$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 21.15 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 27.53 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 9502639 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 202.76 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00051 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00058$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff2} &= (h - x) / 3 = 73.16 \text{ cm} \\ h_{c,eff3} &= h / 2 = 123.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,effi}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.300 \text{ mm} \geq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.74 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 202.76 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	598.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.67				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	21.15	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	27.53	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	9'502'639	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 202.76 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00051 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00058$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 73.16 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 123.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.1.8 Platea – Sez. 2 (M+)

Agli stati limite di esercizio, la sezione è soggetta unicamente a momenti negativi, per cui viene svolta unicamente la verifica agli SLU.

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>207.73</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>0.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>0.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>0.00</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 2 (sp. 247 cm) - M+ (fibre tese superiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	25.00	MPa	
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	20.75	MPa	
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	11.76	MPa	
α <sub>cc</sub> =	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
γ <sub>C</sub> =	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	28.75	MPa	
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.27	MPa	
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.59	MPa	
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.06	MPa	
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.38	MPa	
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa	
γ <sub>S</sub> =	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
E <sub>S</sub> =	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	247	cm
d' =	5	cm
d =	242	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	207.73	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'182 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & \quad x^2 & + & \quad 599'409 & \quad x & - & 46'566'257 & = & 0 \\ x & = & 4.52 & \text{ cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -77.73 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	800.07	kNm	>	$M_{Ed} =$	207.73	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

## 7.8.2 Lato lungo – tratto a monte del giunto

Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ottenuti per ciascuna delle sezioni descritte in precedenza (di larghezza unitaria), utilizzati per il predimensionamento.

<b>MURO</b>			
<b>SEZ 1 (sp. 398 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre interne (valle)		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	3878.48	-6824.30	1484.22
SLE	Med (+)	Med (-)	
	1133.92	-3717.32	
<b>SEZ 2 (sp. 345 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre interne (valle)		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	2370.87	-3035.70	1050.85
SLE	Med (+)	Med (-)	
	936.76	-1508.94	
<b>PLATEA</b>			
<b>SEZ 1 (sp. 271 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre sopra		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	1040.44	-4672.10	1594.21
SLE	Med (+)	Med (-)	
	-410.40	-2995.19	
<b>SEZ 2 (sp. 247 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre sopra		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	286.48	-980.46	628.98
SLE	Med (+)	Med (-)	
	-38.58	-610.98	

Di seguito sono riportate le verifiche svolte agli SLU e agli SLE; poiché le armature previste non sono simmetriche, per ciascuna porzione sono presentate due distinte

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

---



verifiche a flessione e agli SLE, e una sola verifica a taglio (riportata per comodità nel primo paragrafo di ciascuna porzione).

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.1 Muro – Sez. 1 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>6824.30</b>	<b>0.00</b>	<b>1484.22</b>
<b>RARA</b>	<b>3717.32</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>3717.32</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>3717.32</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 1 (sp. 398 cm) - M- (fibre tese monte)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	393	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	1'484.22	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 30 =$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 783.20 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.23 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0012 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 39'800 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 850.13 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.216$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 850.13 \text{ kN} < V_{Ed} = 1'484.22 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
$s =$	passo 30	cm
$n^{\circ}$ bracci =	2	
$A_{s,w} =$	2.262	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	$^{\circ}$	$=$	1.57	rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha =$	1.00		

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	18.927	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	2608.86 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	7170.56 kN
---	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) =$	2608.86	kN	$>$	$V_{Ed} =$	1'484.22	kN
--------------------------------------	---------	----	-----	------------	----------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	6'824.30	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 239 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 157'216 x - 100'059'726 &= 0 \\ x &= 9.46 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 346.53 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	7164.22	kNm	>	$M_{Ed} =$	6'824.30	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	3717.32	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	0.58				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	74.35	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	64.49	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	86'669'074	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.77	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	211.35	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3717.32	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.58$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 74.35 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 64.49 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 86'669'074 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 211.35 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00086 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00060$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 111.17 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.038 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 30.53 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.263 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 2.77 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 211.35 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3'717.32	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	Φ28	+ 3	Φ 16=	27.23	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	Φ30	+ 3	Φ 30=	47.12	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.58				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	74.35	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	64.49	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	86'669'074	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 211.35 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00086 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00060$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 111.17 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.038 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 30.53 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.263 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.2 Muro – Sez. 1 (M+)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>3878.48</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>1133.92</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1133.92</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1133.92</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 1 (sp. 398 cm) - M+ (fibre tese valle)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	350	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	393	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	3'878.48	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'796 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + 2'398'196 x - 173'180'295 &= 0 \\ x = 5.86 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 107.74 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	4148.08	kNm	>	$M_{Ed} =$	3'878.48	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'133.92	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.73				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	74.35	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	47.20	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	53'600'287	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.00	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	109.73	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'133.92	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.73$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 74.35 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} = 47.20 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 53'600'287 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 109.73 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00029 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00031$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 116.93 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 199.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.022$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.85 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.122 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.00 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 109.73 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'133.92	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+ 3	$\Phi 30 =$	47.12	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+ 3	$\Phi 16 =$	27.23	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.73$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 74.35 \text{ cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] = 47.20 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 53'600'287 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 109.73 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00029 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00031$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 116.93 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 199.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.022$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.85 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.122 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.3 Muro – Sez. 2 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>3035.70</b>	<b>0.00</b>	<b>1050.85</b>
<b>RARA</b>	<b>1508.94</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1508.94</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1508.94</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 2 (sp. 345 cm) - M- (fibre tese monte)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	340	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	1'050.85	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 572.21 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.24 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0007 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 34'500 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 750.79 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.221$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 750.79 \text{ kN} < V_{Ed} = 1'050.85 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 18$	
$s =$	passo 30	cm
$n^{\circ}$ bracci =	1	
$A_{s,w} =$	2.545	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	$^{\circ}$	$=$	1.57	rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha =$	1.00		

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	16.713	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	2539.16 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	6203.53 kN
---	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	2539.16	kN	$>$	$V_{Ed} =$	1'050.85	kN
---------------------------------------	---------	----	-----	------------	----------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	3'035.70	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 899 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & & x^2 & + & 586'604 & x & - & 75'429'640 & = & 0 \\ x & = & 6.34 & \text{cm} & & & & & & \\ & & & & & & & & & x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 155.24 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	3102.92	kNm	>	$M_{Ed} =$	3'035.70	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'508.94	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	0.87				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	44.09	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	43.16	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	34'270'305	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.90	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	196.05	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'508.94	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.87$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 44.09 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 43.16 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 34'270'305 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 196.05 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00067 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00056$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 100.61 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.297 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.90 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 196.05 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'508.94	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.87				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	44.09	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	43.16	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	34'270'305	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 196.05 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00067 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00056$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 100.61 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.297 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### 7.8.2.4 Muro – Sez. 2 (M+)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>2370.87</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>936.76</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>936.76</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>936.76</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 2 (sp. 345 cm) - M+ (fibre tese valle)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	340	cm
d' =	5	cm
d =	340	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	2'370.87	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c = \epsilon_{cu} &= 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s = f_{yd} &= 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'137 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + 928'648 x - 86'590'148 &= 0 \\ x = 5.83 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 105.16 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	2704.86	kNm	>	$M_{Ed} =$	2'370.87	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	936.76	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.15				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	44.09	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	40.00	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	30'275'131	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.24	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	139.24	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	936.76	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.15$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 44.09 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 40.00 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 30'275'131 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 139.24 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00037 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00040$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff2} &= (h - x) / 3 = 101.67 \text{ cm} \\ h_{c,eff3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,effi}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 45.99 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.183 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.24 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 139.24 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	936.76	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.15				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	44.09	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	40.00	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	30'275'131	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 139.24 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00037 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00040$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 101.67 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 45.99 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.183 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.5 Platea – Sez. 1 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>4672.10</b>	<b>0.00</b>	<b>1594.21</b>
<b>RARA</b>	<b>2995.19</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>2995.19</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>2995.19</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 1 (sp. 271 cm) - M- (fibre tese inferiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	266	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	1'594.21	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 631.87 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.27 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0018 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 27 * 100 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 609.98 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.229$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 631.87 \text{ kN} < V_{Ed} = 1'594.21 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 18$	
$s =$	passo 100	cm
$n^{\circ}$ bracci =	3.33	
$A_{s,w} =$	8.482	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	45.00	$^{\circ}$	$=$	0.79	rad
$\cot \alpha =$	1.00	$\sin \alpha =$	0.71		

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	24.050	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	1966.55 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	6794.69 kN
---	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) =$	1966.55	kN	$>$	$V_{Ed} =$	1'594.21	kN
--------------------------------------	---------	----	-----	------------	----------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	4'672.10	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = -367 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + -949'533 x - 46'566'257 &= 0 \\ x = 13.58 \text{ cm} &> x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 464.35 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	4900.66	kNm	>	$M_{Ed} =$	4'672.10	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	2'995.19	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	0.26				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	60.74	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	53.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	38'108'759	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.22	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	250.36	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	2'995.19	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.26$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 60.74 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 53.64 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 38'108'759 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 250.36 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00105 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00072$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 72.45 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 135.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.038 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 28.49 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.299 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 4.22 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 250.36 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	2'995.19	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.26				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	60.74	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	53.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	38'108'759	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 250.36 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00105 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00072$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 72.45 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 135.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.038 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 28.49 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.299 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.6 Platea – Sez. 1 (M+)

Agli stati limite di esercizio, la sezione è soggetta unicamente a momenti negativi, per cui viene svolta unicamente la verifica agli SLU.

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1040.44</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>0.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>0.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>0.00</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 1 (sp. 271 cm) - M+ (fibre tese superiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	25.00	MPa	
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	20.75	MPa	
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	11.76	MPa	
α <sub>cc</sub> =	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
γ <sub>C</sub> =	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	28.75	MPa	
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.27	MPa	
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.59	MPa	
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.06	MPa	
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.38	MPa	
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa	
γ <sub>S</sub> =	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
E <sub>S</sub> =	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	271	cm
d' =	5	cm
d =	266	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'040.44	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S, compr} =$	passo 15	$\Phi 26$	+ 3	$\Phi 22 =$	48.07	cm <sup>2</sup>
	$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S, compr} - A_{S, tesa}) * f_{yd} = 2'403 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S, compr} = A_{S, tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S, compr} + f_{yd} * A_{S, tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S, compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + 3'037'053 x - 176'643'901 &= 0 \\ x = 5.02 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \\ \sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 3.65 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = A_{S, tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S, compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1308.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'040.44	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.7 Platea – Sez. 2 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>980.46</b>	<b>0.00</b>	<b>628.98</b>
<b>RARA</b>	<b>610.98</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>610.98</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>610.98</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 2 (sp. 247 cm) - M- (fibre tese inferiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	242	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	628.98	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 384.36 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.29 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0005 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 24700 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 563.64 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.233$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 563.64 \text{ kN} < V_{Ed} = 628.98 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
$s =$	<b>passo 100</b>	cm
$n^\circ$ bracci =	3.33	
$A_{s,w} =$	3.770	cm <sup>2</sup>

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	° =	1.57 rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha =$	1.00

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) = 38.854 \rightarrow \cot \theta = 2.500$

$\alpha_c = 1$

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	803.24 kN
--	-----------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	4415.46 kN
---	------------

$f_{cd} = \eta \cdot f_{ctd} = 0.5 \cdot f_{ctd}$

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	<b>803.24</b>	kN	$>$	$V_{Ed} =$	<b>628.98</b>	kN
---------------------------------------	---------------	----	-----	------------	---------------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	980.46	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\text{armatura compressa in campo elastico} \\ &\text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 435'500 x - 46'566'257 &= 0 \\ x &= 5.07 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 10.34 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1189.06	kNm	>	$M_{Ed} =$	980.46	kNm
------------	---------	-----	---	------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	610.98	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	25.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			27.08	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$			9'533'892	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.74	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	206.60	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	610.98	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 25.34 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 27.08 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 9533892 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 206.60 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00053 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00059$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff2} &= (h - x) / 3 = 73.31 \text{ cm} \\ h_{c,eff3} &= h / 2 = 123.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,effi}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.300 \text{ mm} \geq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.74 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 206.60 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	610.98	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	Φ22	+	Φ =	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	Φ22	+	Φ =	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			27.08	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			9'533'892	cm <sup>4</sup>	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 206.60 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00053 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00059$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 73.31 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 123.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.2.8 Platea – Sez. 2 (M+)

Agli stati limite di esercizio, la sezione è soggetta unicamente a momenti negativi, per cui viene svolta unicamente la verifica agli SLU.

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>286.48</b>	<b>0.00</b>	
<b>RARA</b>	<b>0.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>0.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>0.00</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 2 (sp. 247 cm) - M+ (fibre tese superiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	2.38	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo

- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>

- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	247	cm
d' =	5	cm
d =	242	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	286.48	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c = \epsilon_{cu} &= 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s = f_{yd} &= 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 435'500 x - 46'566'257 &= 0 \\ x &= 5.07 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 10.34 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1189.06	kNm	>	$M_{Ed} =$	286.48	kNm
------------	---------	-----	---	------------	--------	-----

### 7.8.3 Lato corto

Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ottenuti per ciascuna delle sezioni descritte in precedenza (di larghezza unitaria), utilizzati per il predimensionamento.

<b>MURO</b>			
<b>SEZ 1 (sp. 398 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre interne (valle)		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	2755.85	-3152.39	890.32
SLE	Med (+)	Med (-)	
	1221.57	-1456.46	
<b>SEZ 2 (sp. 345 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre interne (valle)		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	1249.22	-1173.93	572.01
SLE	Med (+)	Med (-)	
	594.47	-500.90	
<b>PLATEA</b>			
<b>SEZ 1 (sp. 271 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre sopra		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	541.41	-2996.36	620.06
SLE	Med (+)	Med (-)	
	-366.30	-1965.39	
<b>SEZ 2 (sp. 247 cm)</b>			
	Momento positivo tende fibre sopra		
SLU	Med (+)	Med (-)	Ved
	461.84	-1704.42	637.80
SLE	Med (+)	Med (-)	
	-99.58	-1079.03	

Di seguito sono riportate le verifiche svolte agli SLU e agli SLE; poiché le armature previste non sono simmetriche, per ciascuna porzione sono presentate due distinte

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

---



verifiche a flessione e agli SLE, e una sola verifica a taglio (riportata per comodità nel primo paragrafo di ciascuna porzione).



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.1 Muro – Sez. 1 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>3152.39</b>	<b>0.00</b>	<b>890.32</b>
<b>RARA</b>	<b>1456.46</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1456.46</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1456.46</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 1 (sp. 398 cm) - M- (fibre tese monte)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	393	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	890.32	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 20 =$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 617.92 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.23 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0006 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 39800 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 850.13 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.216$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 850.13 \text{ kN} < V_{Ed} = 890.32 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
$s =$	passo 30	cm
$n^{\circ}$ bracci =	2	
$A_{s,w} =$	2.262	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	$^{\circ}$	$=$	1.57	rad
$\cot \alpha =$	0.00		$\sin \alpha =$	1.00	

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	18.927	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	2608.86 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	7170.56 kN
---	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	2608.86	kN	$>$	$V_{Ed} =$	890.32	kN
---------------------------------------	---------	----	-----	------------	--------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	3'152.39	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\text{armatura compressa in campo elastico} \\ &\text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 915 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 602'995 x - 75'429'640 &= 0 \\ x &= 6.28 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 149.92 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	3527.99	kNm	>	$M_{Ed} =$	3'152.39	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'456.46	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	0.89				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	43.67	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	46.39	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	45'560'787	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.48	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	166.21	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'456.46	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.89$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 43.67 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 46.39 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 45'560'787 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 166.21 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00053 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00047$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 117.20 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.36 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.187 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.48 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 166.21 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'456.46	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.89				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	43.67	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	46.39	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	45'560'787	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 166.21 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00053 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00047$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 117.20 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.36 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.187 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.2 Muro – Sez. 1 (M+)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>2755.85</b>		
<b>RARA</b>	<b>1221.57</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1221.57</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1221.57</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 1 (sp. 398 cm) - M+ (fibre tese valle)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	350	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	393	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	2'755.85	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'120 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 897'860 x - 85'050'767 &= 0 \\ x &= 5.85 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 106.53 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	3130.53	kNm	>	$M_{Ed} =$	2'755.85	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'221.57	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.13				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	43.67	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	43.43	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	40'865'432	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.30	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	156.75	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'221.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	3	$\Phi 22 =$	23.14 cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+		$\Phi =$	20.53 cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.13$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 43.67 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 43.43 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 40'865'432 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 156.75 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00045 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00045$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 118.19 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 199.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 45.99 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.209 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.30 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 156.75 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'221.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+ 3	$\Phi 22 =$	23.14	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 28$	+	$\Phi =$	20.53	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	398	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	393	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.13$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 43.67 \text{ cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] = 43.43 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 40'865'432 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 156.75 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00045 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00045$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 118.19 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 199.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.016$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 45.99 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.209 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.3 Muro – Sez. 2 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1173.93</b>	<b>0.00</b>	<b>572.01</b>
<b>RARA</b>	<b>500.90</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>500.90</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>500.90</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 2 (sp. 345 cm) - M- (fibre tese monte)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa

*coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210'000	MPa

*coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio*

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	340	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	572.01	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 465.32 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.24 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{Sl} / (b_w * d) = 0.0004 \leq 0.02$$

$A_{Sl}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 34'500 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 750.79 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.221$$

$$V_{Rd} = \max(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 750.79 \text{ kN} > V_{Ed} = 572.01 \text{ kN}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'173.93	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 435'500 x - 46'566'257 &= 0 \\ x &= 5.07 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 10.34 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1674.97	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'173.93	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	500.90	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	32.61	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	19'259'925	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.85	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	119.92	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	500.90	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 25.34 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 32.61 \text{ cm}$$

$$J_{ess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 19'259'925 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{ess} = 119.92 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00012 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00034$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 104.13 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 172.50 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.010$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.185 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{ess} = 0.85 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{ess} = 119.92 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	500.90	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	32.61	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	19'259'925	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 119.92 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00012 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00034$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 104.13 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.185 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.4 Muro – Sez. 2 (M+)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1249.22</b>		
<b>RARA</b>	<b>594.47</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>594.47</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>594.47</b>		

#### VERIFICA MURO - SEZ. 2 (sp. 345 cm) - M+ (fibre tese valle)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	340	cm
d' =	5	cm
d =	340	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'249.22	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 435'500 x - 46'566'257 &= 0 \\ x &= 5.07 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 10.34 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1674.97	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'249.22	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	594.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	32.61	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	19'259'925	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.01	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	142.32	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	594.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 25.34 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 32.61 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 19'259'925 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 142.32 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00022 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00041$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 104.13 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.219 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.01 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 142.32 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	594.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 22$	+	$\Phi =$	12.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	345	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	340	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	32.61	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	19'259'925	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 142.32 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00022 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00041$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 104.13 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 172.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 53.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.219 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.5 Platea – Sez. 1 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>2996.36</b>	<b>0.00</b>	<b>620.06</b>
<b>RARA</b>	<b>1965.39</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1965.39</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1965.39</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 1 (sp. 271 cm) - M- (fibre tese inferiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	266	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	620.06	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 15	$\Phi 22$	+ 3	$\Phi 30 =$	48.90	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 635.52 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.27 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0018 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 27 * 100 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 609.98 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.229$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 635.52 \text{ kN} > V_{Ed} = 620.06 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	2'996.36	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 22$	+ 3	$\Phi 30 =$	48.90	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = -564 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + -1'290'191 x - 31'172'453 &= 0 \\ x = 15.65 \text{ cm} &> x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 500.14 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	4972.13	kNm	>	$M_{Ed} =$	2'996.36	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'965.39	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 22$	+ 3	$\Phi 30 =$	48.90	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.17				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	57.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	54.55	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	38'521'566	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.78	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	161.82	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'965.39	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 22$	+ 3	$\Phi 30 =$	48.90	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.17$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 57.39 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 54.55 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 38'521'566 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 161.82 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00063 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00046$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 72.15 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 135.50 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.039$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 26.56 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.167 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 2.78 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 161.82 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'965.39	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 15	$\Phi 22$	+ 3	$\Phi 30 =$	48.90	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.17				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	57.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	54.55	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	38'521'566	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 161.82 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00063 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00046$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 72.15 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 135.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.039 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 26.56 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.167 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.6 Platea – Sez. 1 (M+)

Agli stati limite di esercizio, la sezione è soggetta unicamente a momenti negativi, per cui viene svolta unicamente la verifica agli SLU.

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>541.41</b>		
<b>RARA</b>	<b>0.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>0.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>0.00</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 1 (sp. 271 cm) - M+ (fibre tese superiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	2.38	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	271	cm
d' =	5	cm
d =	266	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	541.41	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 15	$\Phi 22$	+ 3	$\Phi 30 =$	48.90	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	271	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	266	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 2'600 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 x^2 + 3'262'537 x - 179'722'662 &= 0 \\ x &= 4.83 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -26.11 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	880.05	kNm	>	$M_{Ed} =$	541.41	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.3.7 Platea – Sez. 2 (M-)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1704.42</b>	<b>0.00</b>	<b>637.80</b>
<b>RARA</b>	<b>1079.03</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1079.03</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1079.03</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 2 (sp. 247 cm) - M- (fibre tese inferiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	242	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1'704.42	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 428 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & \quad x^2 & + & \quad -298'540 & \quad x & -31'172'453 & = 0 \\ x & = & 7.50 & \text{cm} & & x_1 = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 245.12 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	2198.53	kNm	>	$M_{Ed} =$	1'704.42	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'079.03	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.36				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	32.04	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$				36.98	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				16'671'581	cm <sup>4</sup>

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.39	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	199.04	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'079.03	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 0.36$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 32.04 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 36.98 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 16'671'581 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 199.04 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00069 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00057$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff2} &= (h - x) / 3 = 70.01 \text{ cm} \\ h_{c,eff3} &= h / 2 = 123.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,effi}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.300 \text{ mm} \geq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 2.39 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 199.04 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'079.03	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	0.36				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	32.04	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			36.98	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			16671'581	cm <sup>4</sup>	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 199.04 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00069 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00057$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 70.01 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 123.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.019 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.300 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### 7.8.3.8 Platea – Sez. 2 (M+)

Agli stati limite di esercizio, la sezione è soggetta unicamente a momenti negativi, per cui viene svolta unicamente la verifica agli SLU.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>461.84</b>		
<b>RARA</b>	<b>0.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>0.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>0.00</b>		

#### VERIFICA PLATEA - SEZ. 2 (sp. 247 cm) - M+ (fibre tese superiori)

##### Caratteristiche dei materiali

- CIs  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	247	cm
d' =	5	cm
d =	242	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	461.84	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 30$	+	$\Phi =$	23.56	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	8.48	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	247	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	242	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'608 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & & x^2 & + & 1'399'887 & x & - 86'590'148 & = 0 \\ x & = & 4.69 & \text{cm} & & & x_1 & = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -48.59 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	800.25	kNm	>	$M_{Ed} =$	461.84	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

#### 7.8.4 Pile

Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ottenuti per ciascuna delle sezioni descritte in precedenza (di larghezza unitaria), utilizzati per il predimensionamento.

Poiché, essendo di tipo dissipativo, gli appoggi selezionati per le travi (cfr. cap. 9.7), di fatto impediscono la trasmissione di sollecitazioni in direzione parallela all'asse dell'impalcato, le pile sono state analizzate considerando unicamente le sollecitazioni agenti nella direzione trasversale di maggiore inerzia.

Data l'armatura simmetrica delle pile, si è considerato il valore massimo assoluto dei momenti positivi e negativi.

Pile di larghezza 3 m:

Sezione	B [m]	Ved [kN]	Med [kNm] - SLU	Med [kNm] - SLE
1	4.7	2307.94	13753.71	7458.62
2	4.7	769.41	7955.73	3813.07
3	4.7	659.66	9885.24	5132.53
4	3	2300.15	8935.22	4064.46
5	3	2105.32	3431.17	1562.13

Pile di larghezza 6 m:

Sezione	B [m]	Ved [kN]	Med [kNm] - SLU	Med [kNm] - SLE
1	7.7	6676.97	39346.58	22366.87
2	7.7	4516.51	23970.70	13084.25
3	7.7	2737.79	18287.19	10870.39
4	6	3193.32	14629.90	8066.85
5	6	2803.66	6824.04	4360.20

Per ciascuna pila sono state svolte due verifiche separate: una per il tratto al di sopra del manufatto di regolazione (altezza netta 3 o 6 m, valori evidenziati in giallo) e una alla base del manufatto (altezza 4.70 o 7.70 m, valori evidenziati in arancione).

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### 7.8.4.1 Pile B=3.00 m – Sez. 1

Data la disposizione delle armature, il predimensionamento è stato effettuato valutando la resistenza a pressoflessione della sezione con il software C.A. S.L.U. sviluppato dal prof. ing. Piero Gelfi; si è considerata una sezione rettangolare equivalente (stessa area di calcestruzzo), in cui sono stati predisposti 56 $\Phi$ 28. Si riportano di seguito i risultati.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila459cm\_56phi28**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° figure elementari** 1 **Zoom** **N° strati barre** 26 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	459

N°	As [cm²]	d [cm]
1	24,63	7,8
2	12,31	25,54
3	12,31	43,28
4	12,31	61,02
5	12,31	78,75999
6	12,31	96,5

**Sollecitazioni**  
S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C20/25**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  11,33  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  8,5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,5333  
 $\tau_{c1}$  1,686

**M<sub>xRd</sub>** 25,915 kN m  
 $\sigma_c$  -11,33 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  14,98 ‰  
 $d$  451,2 cm  
 $x$  85,43  $x/d$  0,1893  
 $\delta$  0,7

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**N° rett.** 100  
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 $L_0$  0 cm **Col. modello**  
☐ Precompresso

Le verifiche agli SLE e SLU sono poi state svolte considerando un numero inferiore di ferri (cautelativo) tale da approssimare al meglio il risultato ottenuto dalla procedura precedente.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>13753.71</b>	<b>0.00</b>	<b>2307.94</b>
<b>RARA</b>	<b>7458.62</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>7458.62</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>7458.62</b>		

#### VERIFICA PILE (4.70 m)

##### Caratteristiche dei materiali

###### - Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	25.00	MPa	
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	20.75	MPa	
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	11.76	MPa	
α <sub>cc</sub> =	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
γ <sub>C</sub> =	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	28.75	MPa	
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.27	MPa	
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.59	MPa	
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.06	MPa	
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.38	MPa	
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	30'200	MPa	

###### - Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa	
γ <sub>S</sub> =	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
E <sub>S</sub> =	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	459	cm
d' =	5	cm
d =	454	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	2'307.94	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	Φ	+ 22	Φ 28=	135.47	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	Φ	+ 22	Φ 28=	135.47	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	459	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	454	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 1'210.35 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.21 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 45'900 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 963.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.212$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 1210.35 \text{ kN} < V_{Ed} = 2'307.94 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
$s =$	passo 20	cm
$n^{\circ}$ bracci =	2	
$A_{s,w} =$	2.262	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	$^{\circ}$	$=$	1.57	rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha =$	1.00		

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	12.285	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	4520.70 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	8283.54 kN
---	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	4520.70	kN	$>$	$V_{Ed} =$	2'307.94	kN
---------------------------------------	---------	----	-----	------------	----------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	13'753.71	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 22	$\Phi 28 =$	135.47	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 22	$\Phi 28 =$	135.47	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	459	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	454	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & & x^2 & + & 4'655'889 & x & - 497'835'621 & = 0 \\ x &= & 9.03 & \text{cm} & & & x_1 &= 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 327.88 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	23811.39	kNm	>	$M_{Ed} =$	13'753.71	kNm
------------	----------	-----	---	------------	-----------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	7458.62	kNm
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi$ + 22 $\Phi$ 28 = 135.47 cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi$ + 22 $\Phi$ 28 = 135.47 cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	459	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	454	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00	
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	270.93	cm <sup>2</sup>
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	101.86	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	306'262'940	cm <sup>4</sup>

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.48	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	128.64	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7458.62	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 22	$\Phi$ 28=	135.47	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 22	$\Phi$ 28=	135.47	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	459	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	454	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	270.93	cm <sup>2</sup>			
$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	101.86	cm			
$J_{ess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 =$	306'262'940	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{ess} = 128.64 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00054 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00037$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 119.05 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 229.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.108 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} =$	0.092	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{ess} =$	2.48	MPa	$<$	$0.45 \cdot f_{ck} =$	9.34	MPa
---	------	-----	-----	-----------------------	------	-----

$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{ess} =$	128.64	MPa	$<$	$0.8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
---	--------	-----	-----	----------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7458.62	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 22	$\Phi 28 =$	135.47	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 22	$\Phi 28 =$	135.47	cm <sup>2</sup>

con:

b =	100	cm	h =	459	cm
d' =	5	cm	d =	454	cm
n =	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 270.93 \text{ cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] = 101.86 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 306'262'940 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 128.64 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00054 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00037$$

$$\kappa_1 = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 119.05 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 229.50 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.108$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.092 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### 7.8.4.2 Pile B=3.00 m – Sez. 4

Data la disposizione delle armature, il predimensionamento è stato effettuato valutando la resistenza a pressoflessione della sezione con il software C.A. S.L.U. sviluppato dal prof. ing. Piero Gelfi; si è considerata una sezione rettangolare equivalente (stessa area di calcestruzzo), in cui sono stati predisposti 38 $\Phi$ 28. Si riportano di seguito i risultati.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila278cm\_38phi28**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**TITOLO :**

N° figure elementari **1** Zoom N° strati barre **16** Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	278

N°	As [cm²]	d [cm]
1	24,63	7,8
2	12,31	25,3
3	12,31	42,8
4	12,31	60,3
5	12,31	77,8
6	12,31	95,3

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm]  
xN 0  
yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C C25/30  
E<sub>su</sub> 67,5 %  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm²  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15  
E<sub>syd</sub> 1.957 %  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²  
ε<sub>c2</sub> 2 %  
ε<sub>cu</sub> 3,5  
f<sub>cd</sub> 14,17  
f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
σ<sub>c,adm</sub> 9,75  
τ<sub>co</sub> 0,6  
τ<sub>c1</sub> 1,829

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

**Precompresso**

M<sub>xRd</sub> 10,381 kN m  
σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5  
ε<sub>s</sub> 17,5  
d 270,3 cm  
x 45,04 x/d 0,1666  
δ 0,7

Le verifiche agli SLE e SLU sono poi state svolte considerando un numero inferiore di ferri (cautelativo) tale da approssimare al meglio il risultato ottenuto dalla procedura precedente.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>8935.22</b>	<b>0.00</b>	<b>2300.15</b>
<b>RARA</b>	<b>4064.46</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>4064.46</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>4064.46</b>		

#### VERIFICA PILE (3 m)

##### Caratteristiche dei materiali

##### - Cls R<sub>ck</sub> ≥ 30 MPa

R <sub>ck</sub> =	30.00	MPa	
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	24.90	MPa	
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	14.11	MPa	
α <sub>cc</sub> =	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
γ <sub>C</sub> =	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	32.90	MPa	
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.56	MPa	
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.79	MPa	
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.19	MPa	
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.69	MPa	
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	31'447	MPa	

##### - Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa	
γ <sub>S</sub> =	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
E <sub>S</sub> =	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	278	cm
d' =	5	cm
d =	273	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	2'300.15	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	Φ	+ 15	Φ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	Φ	+ 15	Φ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	278	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	273	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 847.01 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.27 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0034 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.82 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 27'800 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 682.93 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.250$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 847.01 \text{ kN} < V_{Ed} = 2'300.15 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
s=	passo 20	cm
n° bracci =	2	
$A_{s,w} =$	2.262	cm <sup>2</sup>
$\alpha =$ angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave		
$\alpha =$	90.00	° = 1.57 rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha = 1.00$
$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$		
$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) - 1 =$	14.942	$\rightarrow \cot \theta = 2.500$
$\alpha_c =$	1	

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha = 2718.39 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 5977.29 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 2718.39 \text{ kN} > V_{Ed} = 2'300.15 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	8'935.22	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi$	+ 15	$\Phi$ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 15	$\Phi$ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	278	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	273	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'221 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 11'422 & & x^2 & + & 3'174'470 & x & - & 339'433'378 & = & 0 \\ x & = & 8.25 & \text{cm} & & & & & & \\ x_1 & = & 10.69 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 289.33 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	9700.84	kNm	>	$M_{Ed} =$	8'935.22	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	4'064.46	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 15	$\Phi$ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 15	$\Phi$ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	278	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	273	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	184.73	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	64.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	74077'375	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.53	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	171.74	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4'064.46	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 15	$\Phi$ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 15	$\Phi$ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	278	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	273	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	184.73	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	64.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	74077'375	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.74 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00072 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00049$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h-d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h-x) / 3 = 71.22 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 139.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.074 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.68 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.122	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.53	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	11.21	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	171.74	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4'064.46	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ	+ 15	Φ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ	+ 15	Φ 28=	92.36	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	278	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	273	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 184.73 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] = 64.33 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 74'077'375 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.74 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00072 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00049$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 * (h - d) = 12.50 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 71.22 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 139.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.074$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.68$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \quad \text{cm}$$

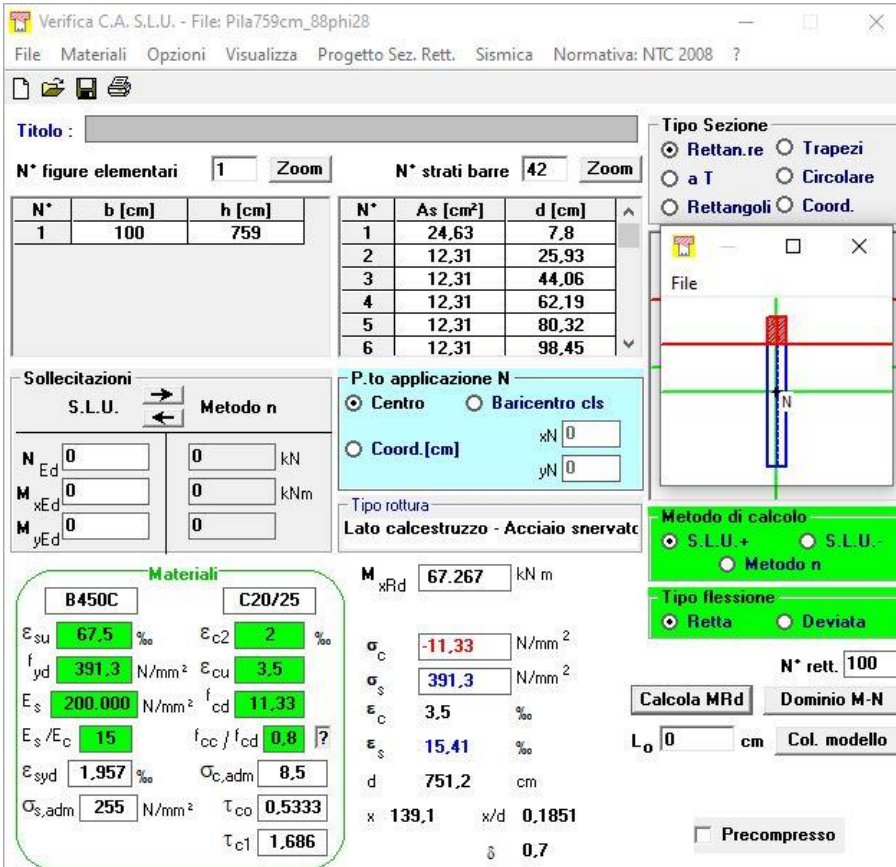
$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.122 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \quad \text{mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 7.8.4.3 Pile B=6.00 m – Sez. 1

Data la disposizione delle armature, il predimensionamento è stato effettuato valutando la resistenza a pressoflessione della sezione con il software C.A. S.L.U. sviluppato dal prof. ing. Piero Gelfi; si è considerata una sezione rettangolare equivalente (stessa area di calcestruzzo), in cui sono stati predisposti 88 $\Phi$ 28. Si riportano di seguito i risultati.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila759cm\_88phi28**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**TITOLO :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	759

N°	As [cm²]	d [cm]
1	24,63	7,8
2	12,31	25,93
3	12,31	44,06
4	12,31	62,19
5	12,31	80,32
6	12,31	98,45

**Sollecitazioni**  
S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C C20/25  
ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 11,33  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 8,5  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,5333  
τ<sub>c1</sub> 1,686

M<sub>xRd</sub> 67,267 kN m  
σ<sub>c</sub> -11,33 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 15,41 ‰  
d 751,2 cm  
x 139,1 x/d 0,1851  
δ 0,7

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.   
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello  
☐ Precompresso

Le verifiche agli SLE e SLU sono poi state svolte considerando un numero inferiore di ferri (cautelativo) tale da approssimare al meglio il risultato ottenuto dalla procedura precedente.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>39346.58</b>	<b>0.00</b>	<b>6676.97</b>
<b>RARA</b>	<b>22366.87</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>22366.87</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>22366.87</b>		

#### VERIFICA PILE (7.70 m)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 40$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	759	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	754	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	6'676.97	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	Φ	+ 36	Φ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	Φ	+ 36	Φ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	759	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	754	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 1'922.50 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.16 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0029 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 75'900 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 1507.45 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.200$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 1922.50 \text{ kN} < V_{Ed} = 6'676.97 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
$s =$	passo 20	cm
$n^{\circ}$ bracci =	2	
$A_{s,w} =$	2.262	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	$^{\circ}$	$=$	1.57	rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha =$	1.00		

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	12.285	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	7507.94 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	13757.25 kN
---	-------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	7507.94	kN	$>$	$V_{Ed} =$	6'676.97	kN
---------------------------------------	---------	----	-----	------------	----------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	39'346.58	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 36	$\Phi$ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 36	$\Phi$ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	759	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	754	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \text{armatura compressa in campo elastico} \\ & \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} &= 0 \\ 9'519 x^2 + 7'618'728 x - 814'640'108 &= 0 \\ x = 9.55 \text{ cm} &< x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 350.29 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	64978.15	kNm	>	$M_{Ed} =$	39'346.58	kNm
------------	----------	-----	---	------------	-----------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	22'366.87	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 36	$\Phi$ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 36	$\Phi$ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	759	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	754	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	443.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			167.80	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$			1'388'209'897	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.70	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	141.67	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	22'366.87	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 36	$\Phi$ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 36	$\Phi$ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	759	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	754	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 443.34 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 167.80 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 1'388'209'897 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 141.67 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00062 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00040$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff2} = (h - x) / 3 = 197.07 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff3} = h / 2 = 379.50 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,effi}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.177$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.105 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 2.70 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 141.67 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	22'366.87	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ	+ 36	Φ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ	+ 36	Φ 28=	221.67	cm <sup>2</sup>

con:

b =	100	cm	h =	759	cm
d' =	5	cm	d =	754	cm
n =	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	443.34	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	167.80	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1'388'209'897	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 141.67 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00062 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00040$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 197.07 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 379.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.177 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

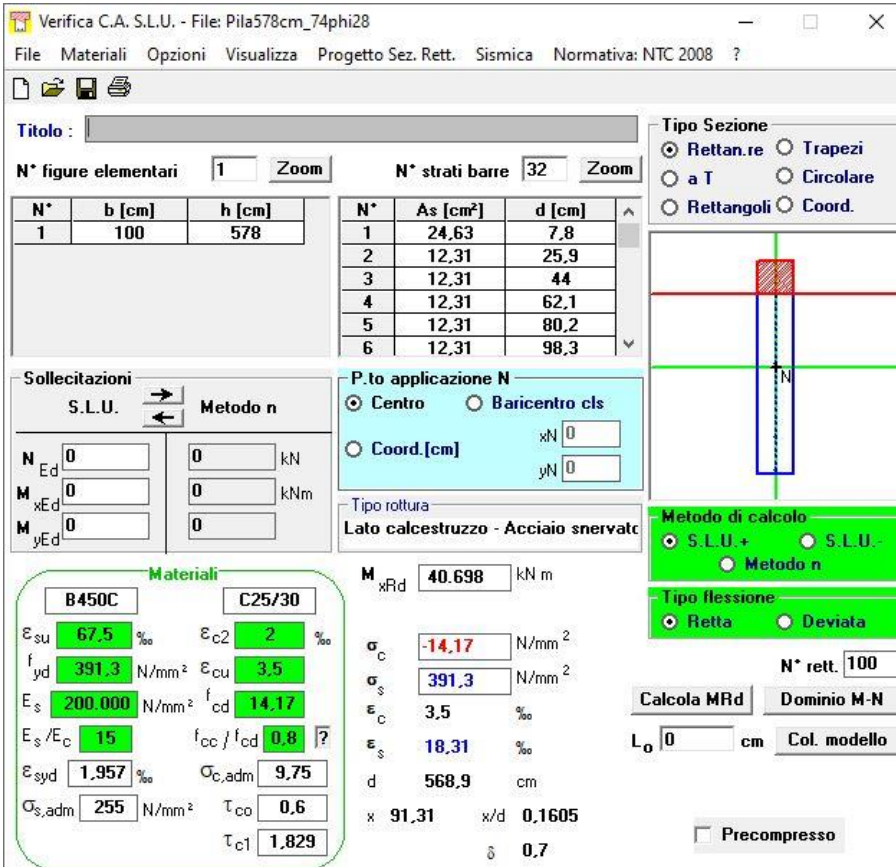
$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.105 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### 7.8.4.4 Pile B=6.00 m – Sez. 4

Data la disposizione delle armature, il predimensionamento è stato effettuato valutando la resistenza a pressoflessione della sezione con il software C.A. S.L.U. sviluppato dal prof. ing. Piero Gelfi; si è considerata una sezione rettangolare equivalente (stessa area di calcestruzzo), in cui sono stati predisposti 74 $\Phi$ 28. Si riportano di seguito i risultati.



Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila578cm\_74phi28

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 32 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	578

N°	As [cm²]	d [cm]
1	24,63	7,8
2	12,31	25,9
3	12,31	44
4	12,31	62,1
5	12,31	80,2
6	12,31	98,3

Tipo Sezione  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

P.to applicazione N  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

Tipo flessione  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm²	$f_{cd}$	14,17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0,8
$\epsilon_{syd}$	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9,75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0,6
		$\tau_{c1}$	1,829

M<sub>xRd</sub> 40,698 kN m

$\sigma_c$  -14,17 N/mm²

$\sigma_s$  391,3 N/mm²

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  18,31 ‰

d 568,9 cm

x 91,31 x/d 0,1605

$\delta$  0,7

Le verifiche agli SLE e SLU sono poi state svolte considerando un numero inferiore di ferri (cautelativo) tale da approssimare al meglio il risultato ottenuto dalla procedura precedente.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>14629.90</b>	<b>0.00</b>	<b>3193.32</b>
<b>RARA</b>	<b>8066.85</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>8066.85</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>8066.85</b>		

#### VERIFICA PILE (6 m)

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 40$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa

*coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210'000	MPa

*coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio*

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	578	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	573	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	3'193.32	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	Φ	+ 28	Φ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	Φ	+ 28	Φ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	578	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	573	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 1'502.68 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.19 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 57'800 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 1181.17 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.206$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 1502.68 \text{ kN} < V_{Ed} = 3'193.32 \text{ kN}$$

Risulta quindi necessario considerare delle armature resistenti a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 12$	
$s =$	<b>passo 20</b>	cm
$n^{\circ}$ bracci =	2	
$A_{s,w} =$	2.262	cm <sup>2</sup>
$\alpha =$ angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave		
$\alpha =$	90.00	° = 1.57 rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha = 1.00$
$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$		
$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) - 1 =$	12.285	$\rightarrow \cot \theta =$ <b>2.500</b>
$\alpha_c =$	1	

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha = 5705.64 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 10454.78 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = \mathbf{5705.64} \text{ kN} > V_{Ed} = \mathbf{3'193.32} \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	14'629.90	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 28	$\Phi$ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 28	$\Phi$ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	578	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	573	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9'519 & & x^2 & + & 5'925'678 & x & - & 633'608'973 & = & 0 \\ x & = & \mathbf{9.30} & \text{cm} & & & & & & \\ & & & & & & & & & x_1 = 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 339.95 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	<b>38330.14</b>	kNm	$>$	$M_{Ed} =$	<b>14'629.90</b>	kNm
------------	-----------------	-----	-----	------------	------------------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	8'066.85	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 28	$\Phi$ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 28	$\Phi$ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	578	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	573	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	344.82	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			128.75	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$			621'145'026	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.67	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	86.54	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	8'066.85	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 28	$\Phi$ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 28	$\Phi$ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	578	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	573	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 344.82 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 128.75 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 621'145'026 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 86.54 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00035 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00025$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 149.75 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 289.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.138$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.060 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.67 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 86.54 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	8'066.85	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ	+ 28	Φ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ	+ 28	Φ 28=	172.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	578	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	573	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	344.82	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	128.75	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	621'145'026	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 86.54 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00035 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00025$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 149.75 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 289.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.138 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.060	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.400	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

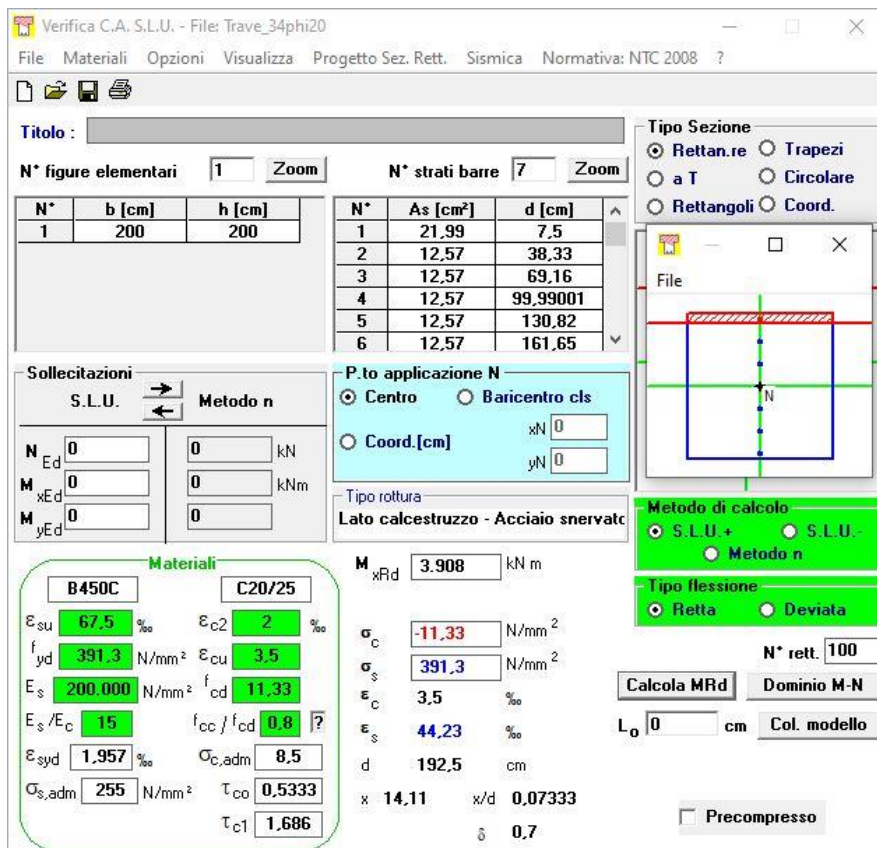
### 7.8.5 Travi di contrasto

Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni ottenuti per ciascuna delle sezioni descritte in precedenza (di larghezza 2x2 m), utilizzati per il predimensionamento.

Data l'armatura simmetrica delle pile, si è considerato il valore massimo assoluto dei delle sollecitazioni in entrambe le direzioni.

Sezione	B [m]	Ved [kN]	Med [kNm] - SLU	Med [kNm] - SLE
1	2	785.53	3024.90	1357.86
2	2	73.52	1962.15	894.38

Data la disposizione delle armature, il predimensionamento è stato effettuato valutando la resistenza a pressoflessione della sezione con il software C.A. S.L.U. sviluppato dal prof. ing. Piero Gelfi; si è considerata una sezione quadrata in cui sono stati predisposti 34 $\Phi$ 20. Si riportano di seguito i risultati.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave\_34phi20**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 7 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	200	200

N°	As [cm²]	d [cm]
1	21.99	7.5
2	12.57	38.33
3	12.57	69.16
4	12.57	99.99001
5	12.57	130.82
6	12.57	161.65

**Sollecitazioni:** S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

**P.to applicazione N:** ☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali:**

B450C		C20/25	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm²	$f_{cd}$	11.33
$E_s / E_c$	15	$f_{cc} / f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	8.5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.5333
		$\tau_{cl}$	1.686

**M<sub>xRd</sub>** 3.908 kN m

$\sigma_c$  -11.33 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  44.23 ‰  
d 192.5 cm  
x 14.11 x/d 0.07333  
 $\delta$  0.7

**Tipo sezione:** ☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo:** ☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione:** ☒ Retta ☐ Devia

**N° rett.** 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

**L<sub>0</sub>** 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso

Le verifiche agli SLE e SLU sono poi state svolte considerando un numero inferiore di ferri (cautelativo) tale da approssimare al meglio il risultato ottenuto dalla procedura precedente.

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>3024.90</b>	<b>0.00</b>	<b>785.53</b>
<b>RARA</b>	<b>1357.86</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>1357.86</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>1357.86</b>		

#### VERIFICA TRAVI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 40$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{cm}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	2.38	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30'200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210'000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	200	cm
$h =$	200	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	195	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 10$	
s=	passo 20	cm
n° bracci =	2	
$A_{s,w} =$	1.571	cm <sup>2</sup>
$\alpha$ = angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave		
$\alpha =$	90.00	° = 1.57 rad
$\cotg \alpha =$	0.00	$\sin \alpha = 1.00$
$1 \leq \cotg \theta \leq 2.5$		
$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) - 1 =$	37.260	$\rightarrow \cotg \theta = 2.500$
$\alpha_c =$	1	

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cotg \alpha + \cotg \theta) \cdot \sin \alpha =$	1348.41 kN
--	------------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) =$	7115.82 kN
--	------------

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

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	1348.41	kN	$>$	$V_{Ed} =$	785.53	kN
---------------------------------------	---------	----	-----	------------	--------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	3'024.90	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 17	$\Phi$ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 17	$\Phi$ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	200	cm	$h =$	200	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	195	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \text{ MPa}$$

armatura compressa in campo elastico

armatura tesa alla tensione  $f_{yd}$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 2'036 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$19'037 x^2 + 1'835'578 x - 196'271'001 = 0$$

$$x = 6.42 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 162.49 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	3999.17	kNm	>	$M_{Ed} =$	3'024.90	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1'357.86	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 17	$\Phi$ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 17	$\Phi$ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	200	cm	$h =$	200	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	195	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	106.81	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	32.81	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	24'047'802	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.85	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	137.37	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'357.86	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi$	+ 17	$\Phi$ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi$	+ 17	$\Phi$ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	200	cm	$h =$	200	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	195	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 106.81 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 32.81 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 24'047'802 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 137.37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00042 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00039$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 55.73 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 100.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 2500.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.021 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.072 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.85 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 137.37 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1'357.86	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ	+ 17	Φ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ	+ 17	Φ 20=	53.41	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	200	cm	$h =$	200	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	195	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	106.81	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			32.81	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			24'047'802	cm <sup>4</sup>	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 137.37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00042 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00039$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 55.73 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 100.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 2500.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.021 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 17.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.072	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.400	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

### 7.8.6 Diaframmi

Come visto in precedenza, i diaframmi sono stati inseriti nel modello come vincoli rigidi; essi sono stati quindi dimensionati a taglio sulla base delle reazioni ottenute in corrispondenza di tali vincoli.

In particolare, il taglio massimo agente su una porzione di larghezza 2.40 m (larghezza di un pannello di diaframma) è risultato pari a 4316.37 kN.

#### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 20$	
$s =$	passo 15	cm
$A_{s,w} =$	18.850	cm <sup>2</sup>
	considerando	6 bracci
$\alpha =$ angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave		
$\alpha =$	90.00	° = 1.57 rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha = 1.00$
$\theta =$ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave		
	$1 \leq \cot \theta \leq$	2.5
$\sin^2 \theta = (A_{s,w} \cdot f_{yd}) / (b_w \cdot s \cdot (\alpha \cdot v_1 \cdot f_{cd})):$	0.271	$\rightarrow \cot \theta =$ 1.367
$\alpha \cdot c =$	1	
$v_1 = 0.7 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$	0.642	

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha = 4538.25 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha \cdot c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 4538.25 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) = 4538.25 \text{ kN} > V_{Ed} = 4316.37 \text{ kN}$$

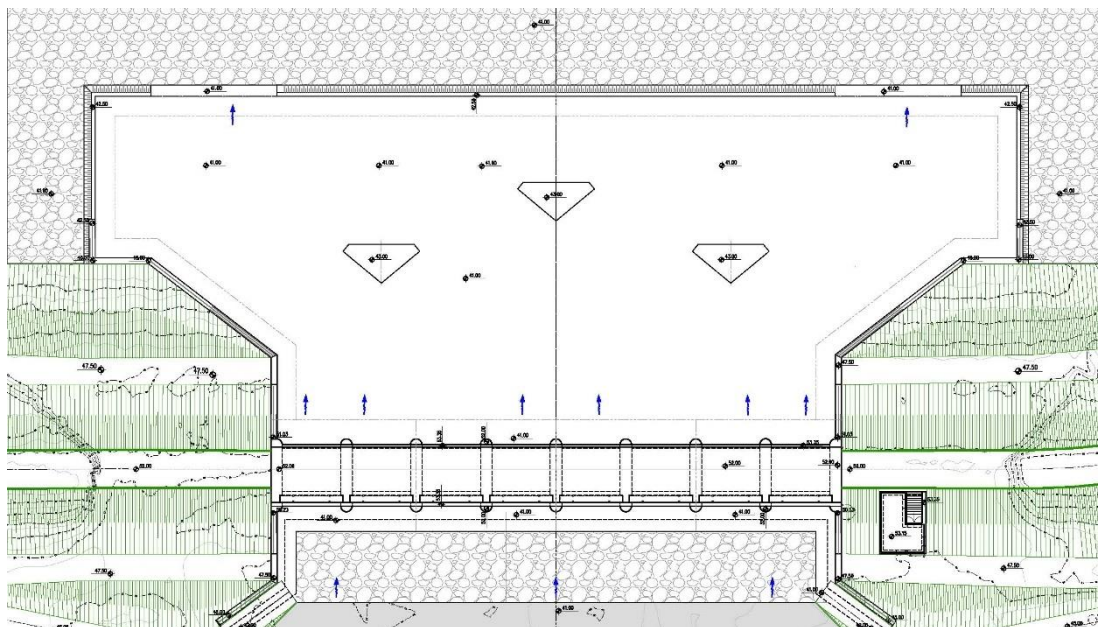
## 8 Manufatto di derivazione laterale

### 8.1 Descrizione delle opere

Attualmente la derivazione nell'invaso laterale, localizzato in sinistra orografica circa 900 metri a monte del manufatto di sbarramento e regolazione, avviene tramite una soglia in calcestruzzo di spessore pari a 3.00 metri, ricavata nel corpo arginale, di lunghezza pari a 120 m e ciglio sfiorante posto a quota 45.40 m s.l.m. La soglia è innestata tra due muri laterali sagomati seguendo la sezione trasversali del rilevato arginale esistente.

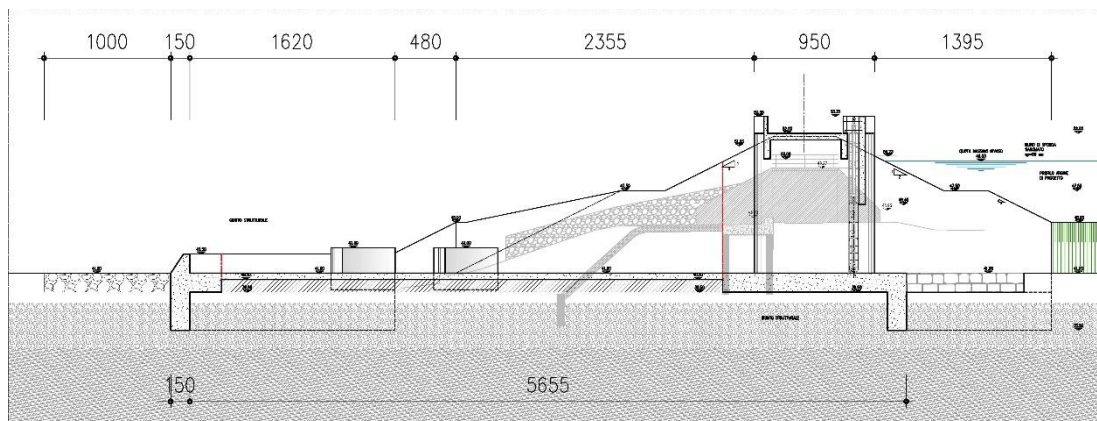
L'adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale prevede la demolizione di parte dell'esistente soglia e la realizzazione di una nuova opera.

Il nuovo manufatto (vedi figure seguenti) sarà costituito da una batteria di 8 bocche di regolazione di luce netta pari a 7.60 x 5.40 metri dotate di paratoie piane a ruote a comando oleodinamico; le bocche di regolazione avranno una quota di scorrimento pari a 41.00 m s.l.m. e saranno intervallate da muri sagomati di spessore pari a 1,50 metri e lunghezza 9.50 metri.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



L'asse trasversale del nuovo manufatto coinciderà con l'asse della soglia esistente e pertanto quest'ultima verrà demolita completamente nella porzione centrale. Le rimanenti porzioni esterne verranno demolite parzialmente: i muri laterali fino a quota 46.00 dagli attuali 49.25 m s.l.m. e la soglia in calcestruzzo fino a circa quota 44.00 m rispetto ai 45.40 m s.l.m. dell'esistente. Sui tratti laterali del manufatto esistente così preparati verranno realizzate, secondo le sagome di progetto, le arginature di contenimento degli invasi.

Ai lati del nuovo manufatto verranno realizzati dei muri di sponda sagomati a delimitare i tratti di imbocco e sbocco per il convogliamento della portata derivata. In quota i muri seguiranno il profilo dell'argine rialzato in progetto.

Lato fiume il fondo del tratto di imbocco per uno sviluppo di 10 m sarà rinforzato da una platea in massi intasati in cls di spessore 1.5 m.

Lato invaso verrà realizzata una vasca di dissipazione costituita da una platea in calcestruzzo di spessore pari a 0.50 m sopra ad un getto di magrone di spessore 1.00 m, da 3 blocchi prismatici di dissipazione e da una sfioratore perimetrale di altezza pari a 1,50 metri.

Il nuovo manufatto sarà sormontato, lungo l'intera estensione, da una strada di servizio, carrabile, pavimentata, di larghezza 5.80 metri con piano stradale posto a quota 52.00 m s.l.m.

Le apparecchiature per la movimentazione delle paratoie verranno alloggiare in un edificio servizi realizzato sulla arginatura a valle del manufatto. Tale edificio conterrà la centralina oleodinamica ed un quadro locale di comando, mentre PLC, quadro

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

---



elettrico di automazione e centro di controllo, quadro elettrico generale di BT saranno localizzati nell'edificio servizi presso il manufatto di sbarramento e regolazione.



## 8.2 Disegni di riferimento

Gli elaborati grafici relativi alle opere in analisi sono elencati nella tabella seguente.

Codice tavola	Titolo tavola	Scala
Tav. B.1	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Planimetria di progetto	1:500
Tav. B.2	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Stato di fatto e demolizioni (pianta e sezioni)	1:200
Tav. B.3	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Pianta a quota 53.35 m s.l.m. (copertura) e prospetto frontale	1:200
Tav. B.4.1	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Sezioni da A-A a B-B	1:100
Tav. B.4.2	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Sezioni da C-C a D-D	1:100
Tav. B.4.3	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Sezioni da E-E a G-G	1:100
Tav. B.4.4	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Muri laterali, vista e sezioni	1:100
Tav. B.5.1	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Pianta a quota 52,00 e 51,00 m s.l.m. (soletta e muri)	1:200
Tav. B.5.2	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Pianta a quota 41,00 e 38,00 m s.l.m. (piano fondazione e taglione)	1:200
Tav. B.9	Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell'invaso laterale: Tipologici armature cemento armato	indicata

## 8.3 Caratteristiche dei materiali strutturali

### 8.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C20/25

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione del corpo, della fondazione e delle travi di contrasto è pari a 25 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 21 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 29 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.6 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 11.8 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

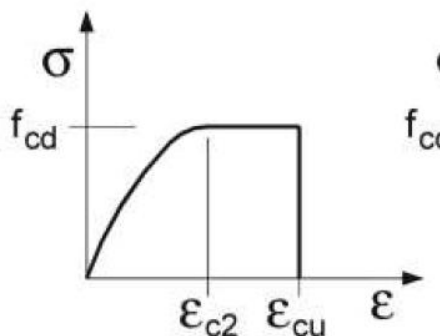
$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.06 \text{ MPa}$$

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 30200 \text{ MPa}$$



Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20% e 0.35%.

### 8.3.2 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione delle pile dell'impalcato in progetto è pari a 30 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.8 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 14 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.19 \text{ MPa}$$

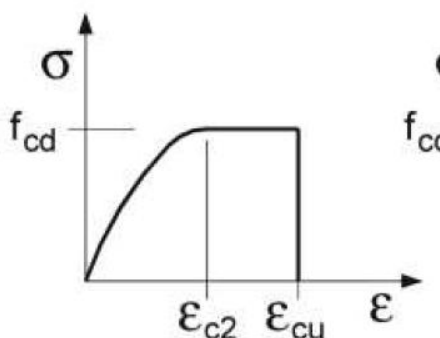
Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 31500 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20% e 0.35%.

### 8.3.3 Acciaio per cemento armato tipo B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento  $f_{y,nom}$  e della tensione a carico massimo  $f_{t,nom}$  da utilizzare nei calcoli [NTC 2018 – Par. 11.3.2.1]:

$$f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

Tra i requisiti richiesti da normativa [NTC 2018 – Tab. 11.3.Ib] sono specificati i due vincoli seguenti in merito ai valori caratteristici delle tensioni.

$$f_{y,k} \geq f_{y,nom}$$

$$f_{t,k} \geq f_{t,nom}$$

Pertanto i valori considerati per le tensioni caratteristiche sono i seguenti:

$$f_{y,k} = f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

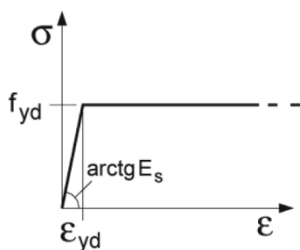
$$f_{t,k} = f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto dell'acciaio  $f_{y,d}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore si ottiene come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2]:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cong 391.3 \text{ MPa}$$

essendo  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Il diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.2]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di elastico perfettamente plastico.



## 8.4 Situazioni progettuali

La normativa [NTD14 – Par. C.8] prevede l'analisi delle seguenti situazioni:

1. In fase costruttiva
2. A termine costruzione e a serbatoio vuoto
3. A serbatoio pieno con il livello alla massima regolazione e, quando significativo, anche a livelli intermedi
4. A serbatoio pieno con il livello al massimo invaso
5. A seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello di massima regolazione al livello di minimo invaso e quando si significativo, anche a livelli intermedi;
6. In presenza di sisma, con il livello alla quota massima di regolazione e, quando sia significativo, anche a livelli intermedi, nonché a serbatoio vuoto.

Per il caso in esame, si sono analizzate le seguenti condizioni:

3. A serbatoio pieno con il livello alla massima regolazione e, quando significativo, anche a livelli intermedi:

Nella configurazione di massima regolazione (con bocche aperte) il livello dell'acqua è pari a 46.25 m s.l.m. a monte del manufatto, mentre la vasca laterale è vuota. Tale configurazione non è stata analizzata in quanto meno critica di quella descritta nel seguito (configurazione 750 m<sup>3</sup>/s e bocche chiuse).

Per portate inferiori a 750 m<sup>3</sup>/s, la vasca laterale rimane vuota e i livelli di monte sono inferiori rispetto al livello di massima regolazione, per cui tali situazioni risultano meno critiche.

Al raggiungimento di Q=750 m<sup>3</sup>/s, le 6 bocche del manufatto di regolazione vengono chiuse e si raggiunge un livello a monte dello sbarramento pari a 48.75 m s.l.m., mentre la vasca laterale rimane vuota (configurazione 750 m<sup>3</sup>/s e bocche chiuse).

Per portate superiori, le bocche del manufatto sfioratore cominciano ad aprirsi, per cui la differenza di carico tra monte e valle va diminuendo; tali situazioni non sono quindi state analizzate.

6. In presenza di sisma, con il livello alla quota massima di regolazione e, quando sia significativo, anche a livelli intermedi, nonché a serbatoio vuoto:

Come per i manufatti in linea, le analisi sismiche (SLD e SLC) sono state svolte considerando un livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro del manufatto regolatore, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle (in questo caso la configurazione di massima regolazione coincide con quella di invaso sperimentale).

Sono state invece omesse le verifiche nelle seguenti situazioni:

1. In fase costruttiva:

Non significativa per il manufatto in esame in quanto, a meno di eventi di piena, la struttura rimane in asciutto; non sono quindi presenti articolari situazioni costruttive.

2. A termine costruzione e a serbatoio vuoto:

Nella situazione di invaso sperimentale, analizzata per i manufatti in linea, si ha un livello di acqua a monte dello sbarramento laterale pari a 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle. Tale configurazione coincide con quella di massima regolazione e risulta quindi meno critica rispetto a quella analizzata al punto 4. (configurazione 750 m<sup>3</sup>/s e bocche chiuse)

4. A serbatoio pieno con il livello al massimo invaso

Per la piena millenaria (massimo invaso) si è assunto un livello di 50.24 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 50.24 a valle.

Per la piena duecentennale si è assunto un livello di 49.83 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 49.83 a valle.

In entrambe le configurazioni il manufatto risulta quindi sommerso e caricato simmetricamente, per cui la verifica in configurazione di massimo invaso è stata omessa.

5. A seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello di massima regolazione al livello di minimo invaso e quando sia significativo, anche a livelli intermedi:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



la procedura di vuotatura di fatto rispecchia quella di riempimento, per cui non si è ritenuto necessario effettuare ulteriori analisi in aggiunta a quelle effettuate per il punto 3.



## 8.5 Valutazione dell'azione sismica

La valutazione degli effetti riconducibili al sisma è stata condotta mediante un'analisi lineare statica [NTC2018 – Par. 7.3.3.2], cioè in sostanza il sisma è stato rappresentato applicando forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  e la forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7]$$

dove:

$F_h$  =  $S_d(T_1) W \lambda / g$

$F_i$  è la forza da applicare alla massa i-esima;

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j;

$z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j;

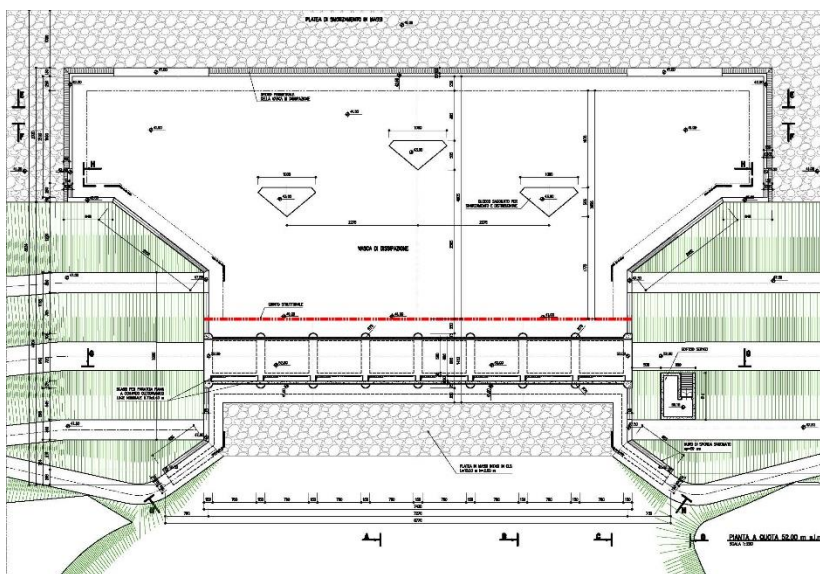
$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

$W$  è il peso complessivo della costruzione;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se  $T_1 < 2T_C$  e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Il periodo fondamentale di vibrazione della struttura è stato individuato attraverso l'analisi modale svolta con il software SAP2000, ed è pari a  $T_1 = 0.058$  s per il corpo principale dello sbarramento e a  $T_1 = 0.095$  s per la porzione a valle del giunto strutturale evidenziato nella figura seguente.

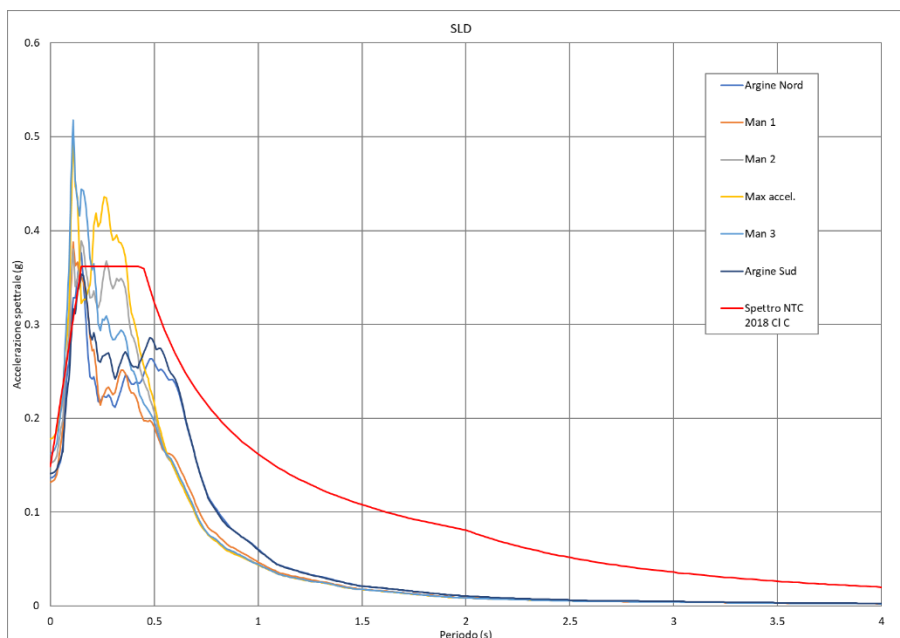




In accordo con quanto previsto dalla normativa [NTD14 – Par. C.6 e Circolare 16790 – Cap. II], le verifiche sismiche sono state svolte per lo SLD e lo SLC, ovvero sono state omesse le verifiche allo SLO e allo SLV in quanto le prestazioni per detti stati limite sono garantite con livelli di azione sismica maggiore.

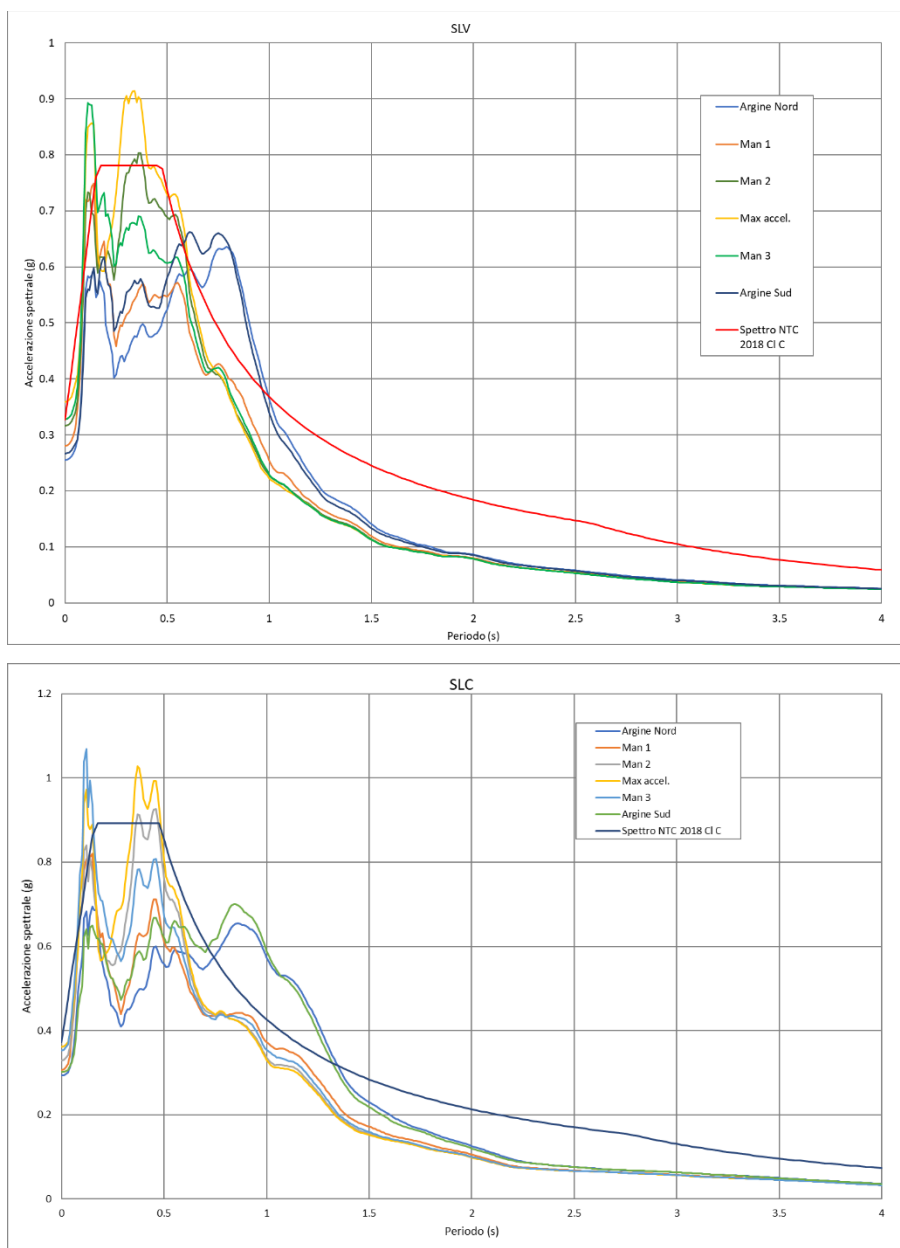
La risposta sismica è stata caratterizzata a livello locale tramite modellazione bidimensionale effettuata sulla base di una sezione litostratimetrica ricavata a partire da sondaggi effettuati in corrispondenza del manufatto di derivazione laterale (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*).

Gli spettri elastici rappresentativi della risposta sismica locale sono mostrati nei seguenti grafici, in cui è riportato anche lo spettro definito da NTC.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



L'entità delle forze statiche equivalenti è stata calcolata come ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  per ciascuno degli spettri di risposta locale e per lo spettro fornito da normativa; il valore assunto per le verifiche è quello massimo tra la media dei valori delle RSL e il valore ottenuto da NTC, ed è evidenziato in giallo nelle tabelle seguenti.

Manufatto T1=0.058 s		Se (T1) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.185	0.231	0.495	0.562
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.193	0.344	0.422

Porzione di valle T1=0.095 s		Se (T1) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.228	0.284	0.602	0.682
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.325	0.623	0.657

Le azioni inerziali dell'acqua  $p$  sono definite come da normativa [D.M. 26/06/2014 – Par. C.7.7.3.].

$$p = a \cdot r \cdot c \cdot y_0$$

dove:

- $a$  è il valore dell'accelerazione orizzontale massima al sito;
- $r$  è la massa per unità di volume dell'acqua;
- $y_0$  è la differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento.

$$c = \frac{c_m}{2} \left[ \frac{y}{y_0} \cdot \left( 2 - \frac{y}{y_0} \right) + \sqrt{\frac{y}{y_0} \cdot \left( 2 - \frac{y}{y_0} \right)} \right]$$

essendo:

- $y$  è la differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione  $p$ ;
- $c_m = -0.0073 \cdot a + 0.7412$  in cui  $a$  è l'angolo di inclinazione del paramento rispetto alla verticale espresso in gradi sessagesimali.

## 8.6 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali (automaticamente calcolato dal software SAP2000), sono stati considerati i seguenti carichi:

### ➤ PESO PROPRIO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

E' stato considerato applicando alla soletta il carico uniformemente distribuito

$p$  definito come segue:

$$p = s \cdot c = 1.3 \text{ kN/m}^2$$

dove:

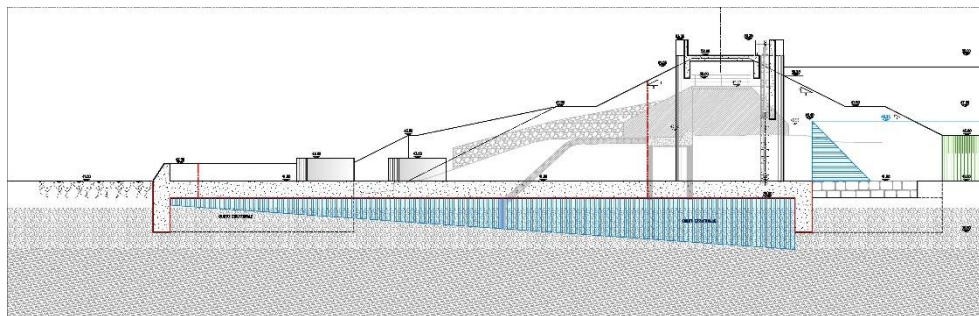
- $s = 0.1 \text{ m}$  è lo spessore della pavimentazione stradale;
- $c = 13 \text{ kN/m}^3$  è il peso per unità di volume del bitume.

### ➤ SPINTE DELL'ACQUA

Le spinte dell'acqua sono state analizzate nelle configurazioni descritte al paragrafo 8.4.

### ➤ SOTTOSPINTE

Per il calcolo delle sottospinte si è considerato che la differenza di carico tra monte e valle venga dissipata linearmente (cfr. *R03 – Relazione idraulica*) lungo il percorso evidenziato in rosso nella figura seguente. Per la configurazione di invaso sperimentale (visibile nell'immagine) si è assunto che la quota di falda a valle coincida con la quota del piano campagna.



### ➤ SPINTE DEL TERRENO SUI MURI PERIMETRALI

Le spinte esercitate dal terreno sui muri sono state calcolate assumendo esclusivamente condizioni di lungo termine e considerando che su tutta l'altezza del muro siano presenti terreni granulari (orizzonte A/B) con i parametri riportati di seguito.

Le pressioni sono ottenute applicando la formula proposta di seguito:

$$p = \gamma_{nat} \cdot z \cdot K_A - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_A}$$

dove:

- $\gamma_{nat} = 21 \text{ kN/m}^3$  è il peso del terreno;
- $\varphi' = 38^\circ$  l'angolo di attrito del terreno;
- $z$  è la profondità rispetto al piano campagna;
- $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ .
- $K_A = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2(\alpha) \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} = 0.226$  è il coefficiente di spinta attiva secondo la formulazione di Coulomb [Fondazioni. Progetto e analisi – Joseph E. Bowles], essendo  $\alpha = 90^\circ$  l'inclinazione del muro,  $\delta = \frac{2}{3} \cdot \phi'_k$  l'angolo di attrito cls-terreno, e  $\beta = 0^\circ$  l'inclinazione del piano campagna a monte del muro;

### ➤ MEZZI E PERSONE SULLA SOLETTA

In via conservativa, i carichi riconducibili alla presenza di mezzi e persone sulla soletta sono stati assunti in accordo con quanto previsto in normativa per aree adibite al traffico e parcheggio di veicoli medi [NTC 2018 – Tab. 3.1.II – Cat. G].

Pertanto sono stati considerati:

- 4 carichi concentrati pari a 50 kN per simulare la presenza di un veicolo con gli assi anteriore e posteriore delle ruote in corrispondenza della mezzeria di due luci consecutive;
- un carico distribuito pari a 5 kN/m<sup>2</sup> applicato a tutta la soletta.

### ➤ FORZE INERZIALI DOVUTE AL SISMA

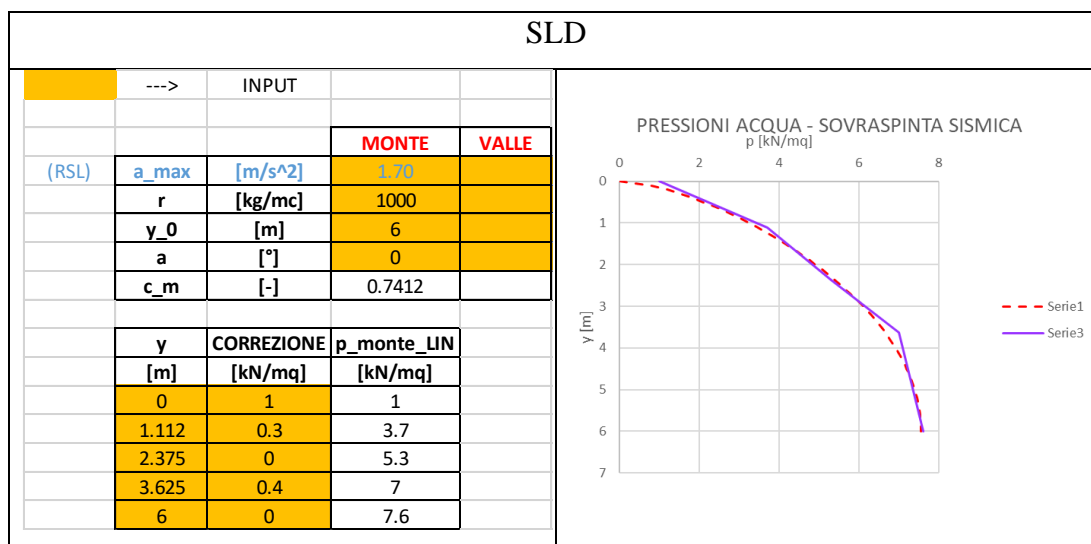
Le forze inerziali dovute al sisma (SLD e SLC) sono state applicate con le procedure e le accelerazioni descritte al paragrafo 8.5

### ➤ SOVRASPINTA SISMICA DELL'ACQUA

Come mostrato nella figura seguente, l'andamento delle sovra-pressioni è stato opportunamente linearizzato in maniera tale che potesse essere definito in SAP2000.

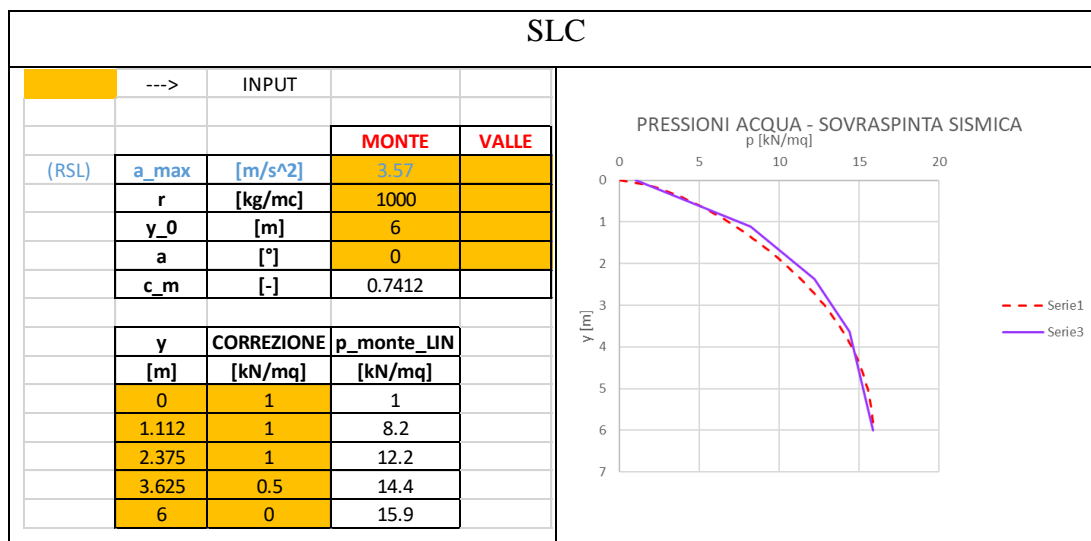
L'accelerazione orizzontale massima al sito è stata calcolata a partire dalla media dei picchi degli spettri di risposta sismica locale  $S_{e,max}$ , divisa per il valore del fattore di amplificazione dello spettro orizzontale  $F0$  (cfr. *Relazione sismotettonica e sismica*):

SLD		SLC	
$S_{e,max} [g]$	0.42	$S_{e,max} [g]$	0.87
$F0 [-]$	2.433	$F0 [-]$	2.40
$a_{max} [\frac{m}{s^2}]$	1.70	$a_{max} [\frac{m}{s^2}]$	3.57



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 6.2.4.1.1, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

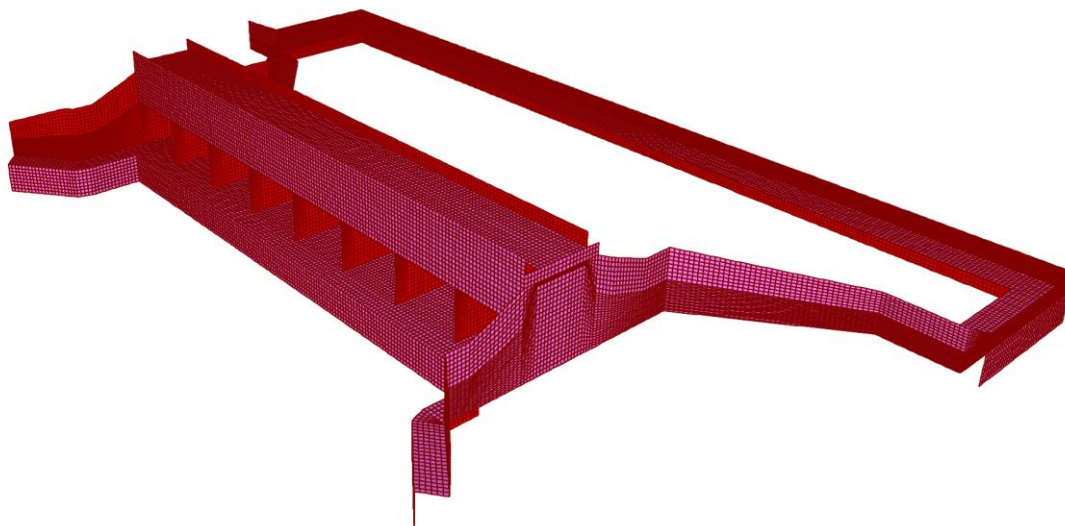
COMBINAZIONI	SITUAZIONE PROGETTUALE	PESO PROPRIO	MANTO STRADALE	SPINTE TERRENO	SPINTE ACQUA	SOTTOSPINTA	AZIONI VARIABILI SULL'IMPALCATO	SISMA
SLU FONDAMENTALE	750 m3/s e bocche chiuse	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	-
SLE RARA	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	0.5	-
SLE QUASI PERMANENTE	750 m3/s e bocche chiuse	1	1	1	1	1	0.3	-
SISMICA SLC	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	0.3	1
SISMICA SLD	Invaso sperimentale	1	1	1	1	1	0.3	1

Gli effetti dell'evento sismico sono stati ottenuti considerando l'involuppo degli effetti dovuti ad accelerazioni caratterizzate da direzioni x ed y e versi opposti [NTC 2018 – Par. 7.3.5.].



## 8.7 Modellazione e risultati dell'analisi

Il manufatto è stato modellato come segue.



Considerate le dimensioni degli elementi strutturali che costituiscono il manufatto in analisi e l'entità dei carichi cui essi sono soggetti, è ragionevole assumere a priori che debbano necessariamente essere armati. Per queste ragioni è stata prediletta una modellazione con elementi bidimensionali tipo “shell”, che garantisce in questo frangente l'accuratezza dei risultati e consente di individuare in maniera agevole la distribuzione delle azioni interne, indispensabile per il corretto dimensionamento delle armature.

L'interazione suolo-terreno è stata simulata applicando vincoli di appoggio rigido ai nodi in corrispondenza della fondazione: questa scelta è stata operata in considerazione della tipologia di terreno di fondazione (essendo argilloso, è ragionevole prevedere che non si verifichino cedimenti differenziali considerevoli) ed è comunque conservativa dal punto di vista strutturale.

Nel seguito si riportano:

- i diagrammi e i valori delle massime sollecitazioni flessionali e a taglio ottenuti agli SLU, unicamente per la combinazione dimensionante (SLU o SISMICA SLC- inviluppo);



- i diagrammi e i valori delle massime sollecitazioni flessionali ottenuti agli SLE, unicamente per la combinazione dimensionante (SLE RARA o SISMICA SLD-inviluppo).

Il predimensionamento è stato svolto per le porzioni principali del manufatto, ovvero:

- Muro di sponda – tratto a monte dello sbarramento
- Muro di sponda – tratto a valle dello sbarramento
- Setti tra le paratoie
- Soletta carrabile
- Trave frontale

La combinazione dimensionante per ciascuna porzione è riportata nella porzione superiore di ciascun diagramma.

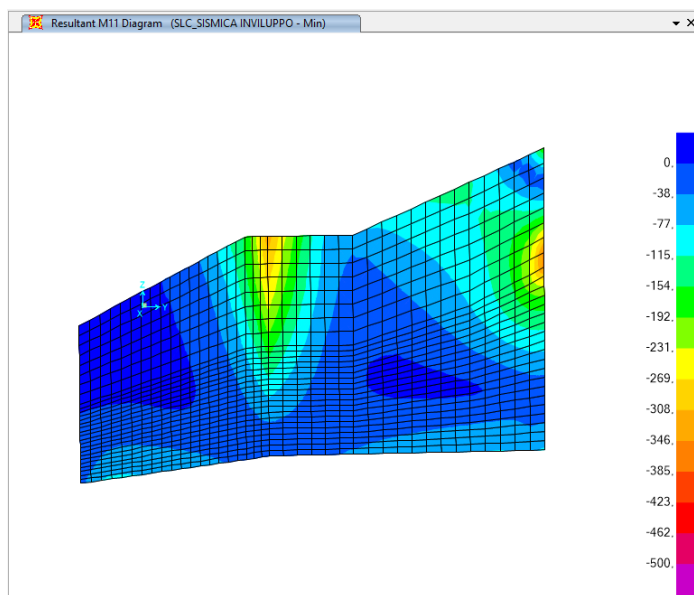
N.B. In questa fase il predimensionamento è stato effettuato considerando le sollecitazioni medie agenti sulle porzioni analizzate; il dimensionamento di dettaglio sarà effettuato nella successiva fase di progettazione esecutiva.

## 8.7.1 Muro di sponda - monte

### 8.7.1.1 Risultati SLU

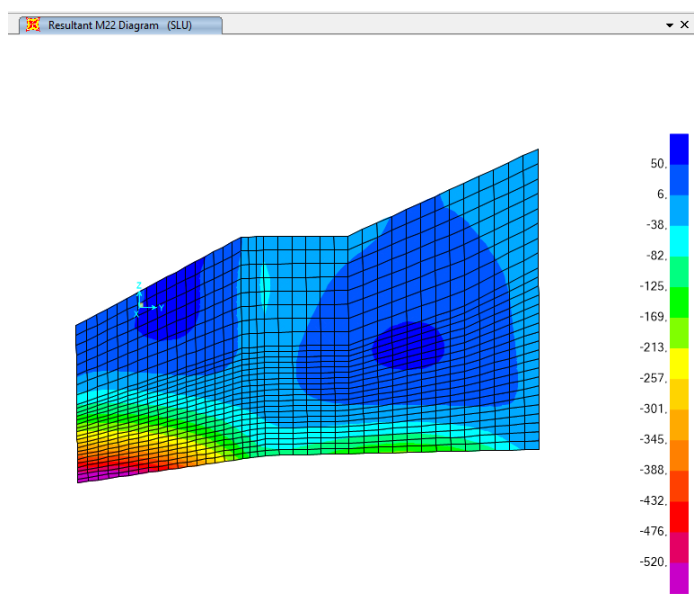
I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m/m (momenti) e in kN/m (forze).

#### MOMENTO M11



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 200 \text{ kNm}$ .

#### MOMENTO M22 – Chiamate

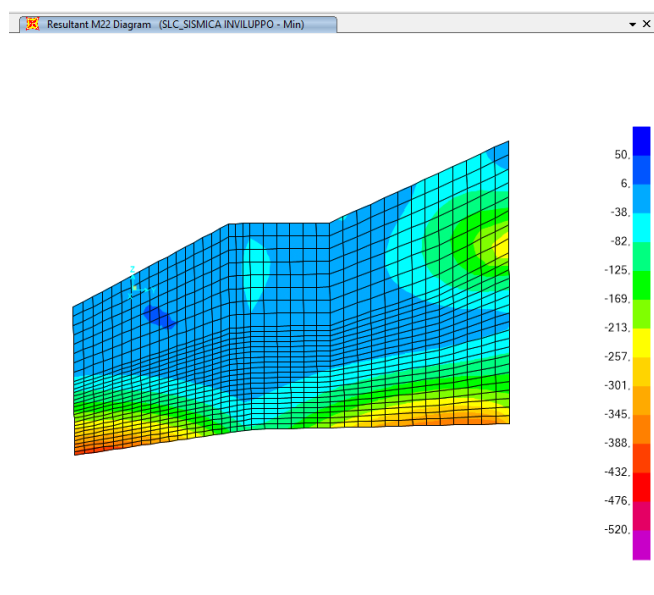


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

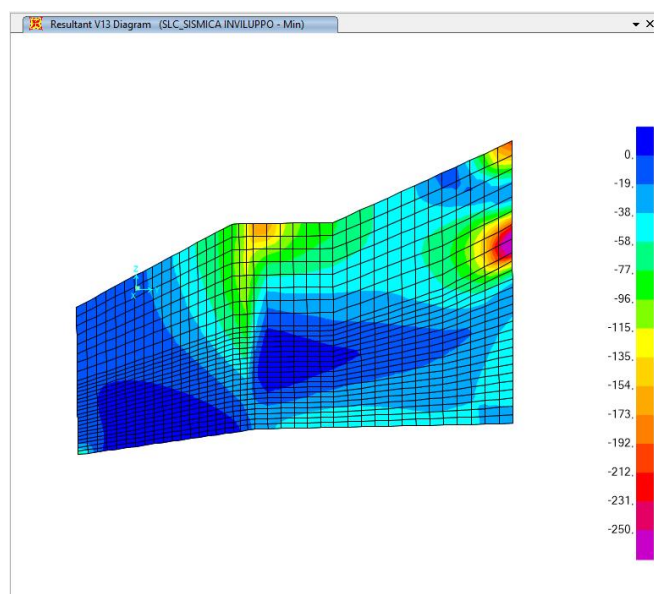
Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 400kNm$ .

### MOMENTO M22 – Ferri verticali



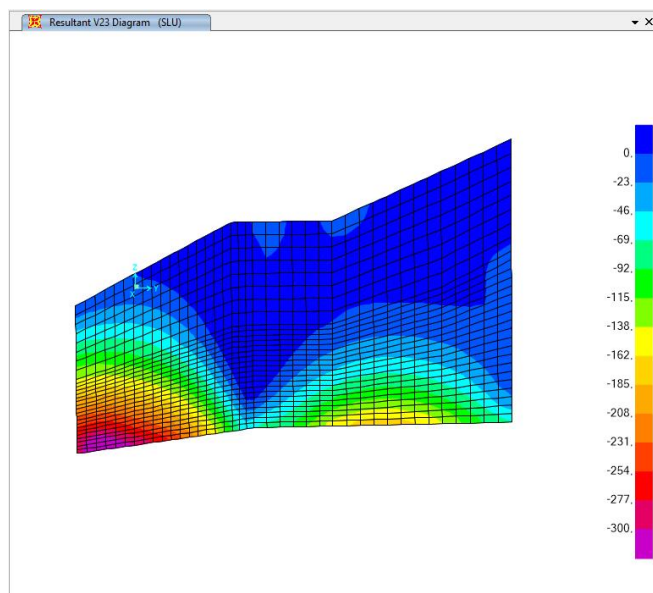
Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 200kNm$ .

### TAGLIO V13



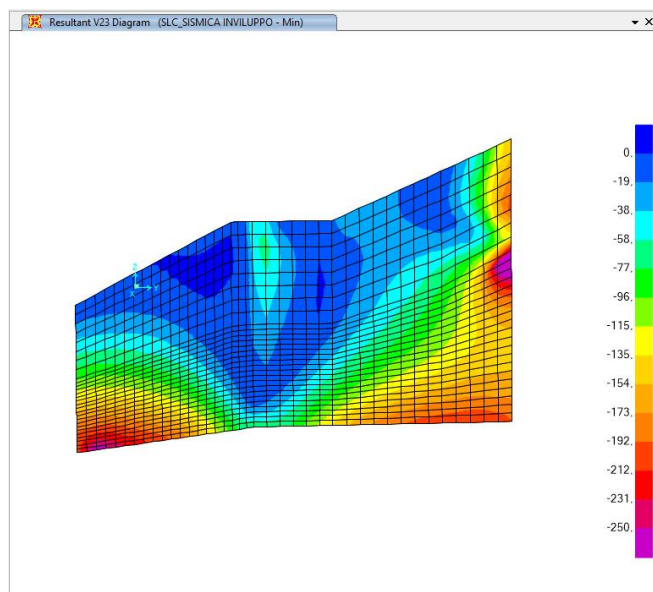
Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 150kN$ .

#### TAGLIO V23 – Chiamate



Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 250 kNm$ .

#### TAGLIO V23 – Ferri verticali



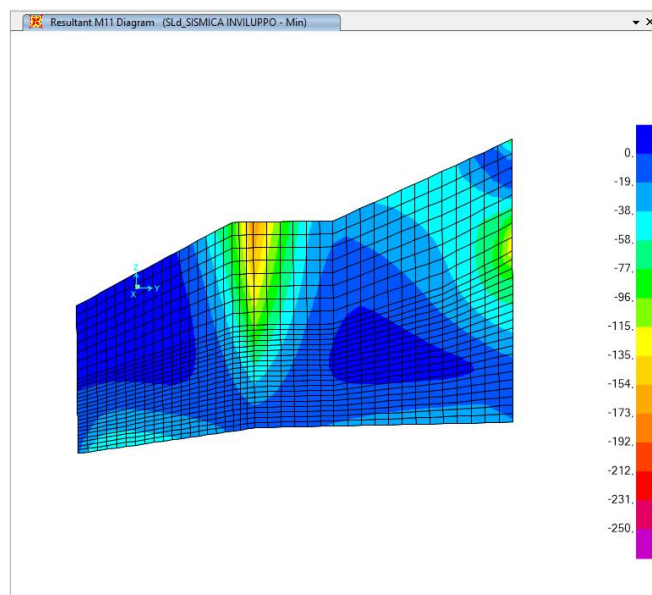
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 180 \text{ kN}$ .

#### 8.7.1.2 Risultati SLE

##### MOMENTO M11

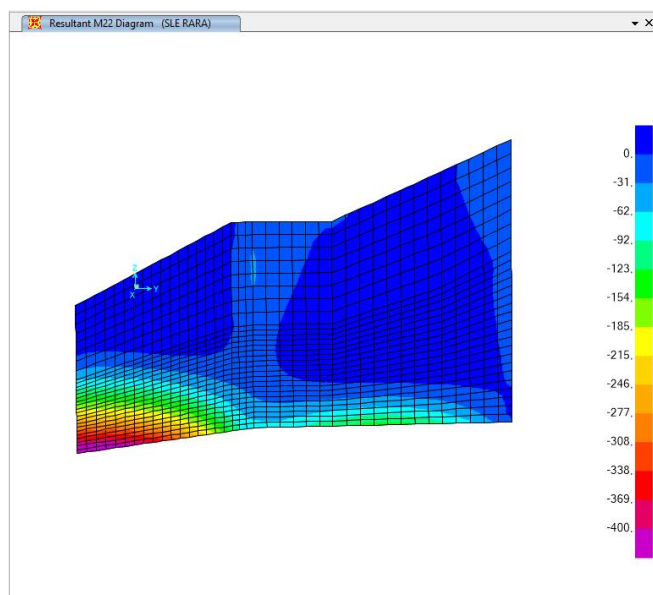


Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 100 \text{ kNm}$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

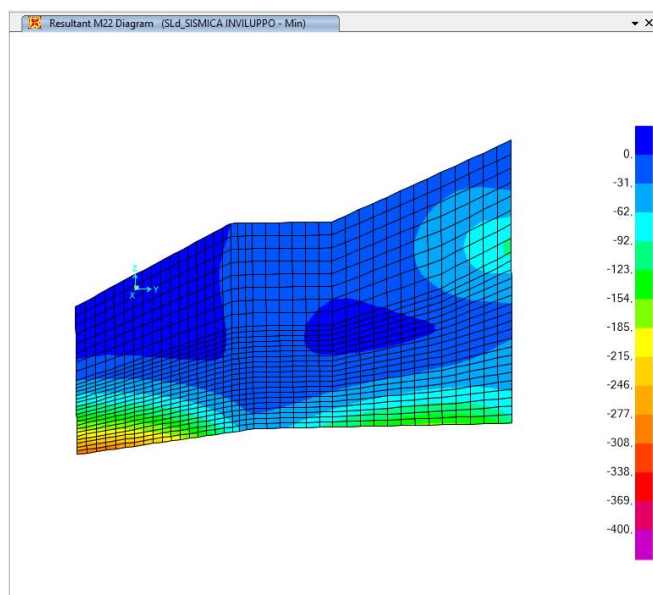
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### MOMENTO M22 – Chiamate



Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 300 \text{ kNm}$ .

### MOMENTO M22 – Ferri verticali



Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 80 \text{ kNm}$ .



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

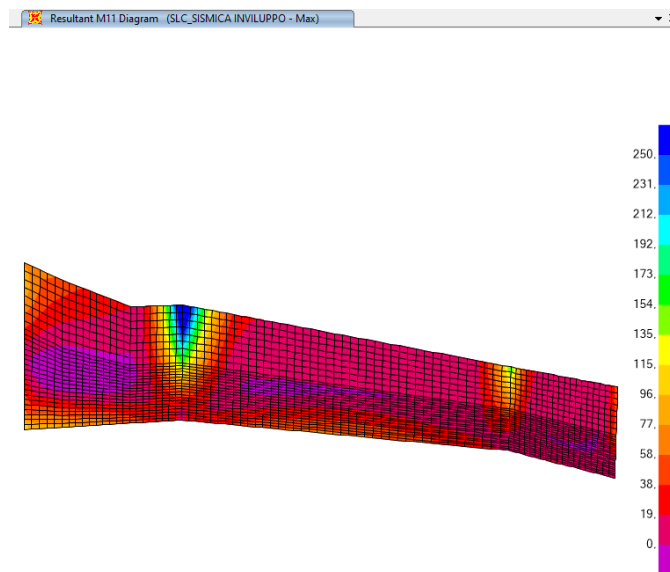
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## 8.7.2 Muro di sponda - valle

### 8.7.2.1 Risultati SLU

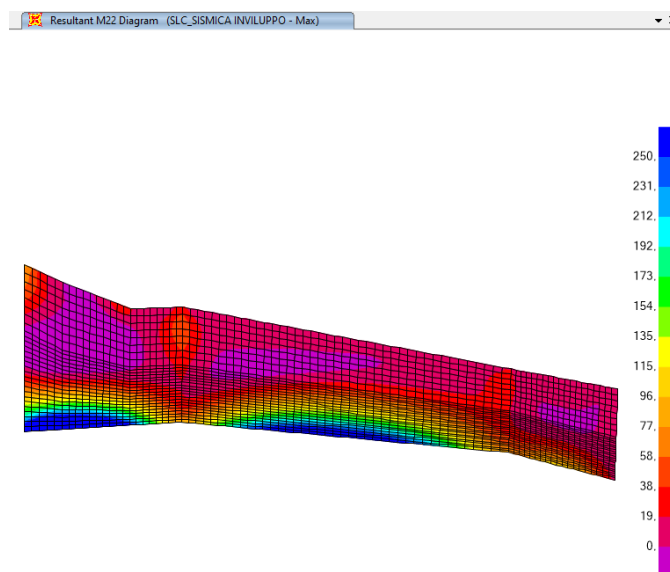
I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m/m (momenti) e in kN/m (forze).

#### MOMENTO M11



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 200 \text{ kNm}$

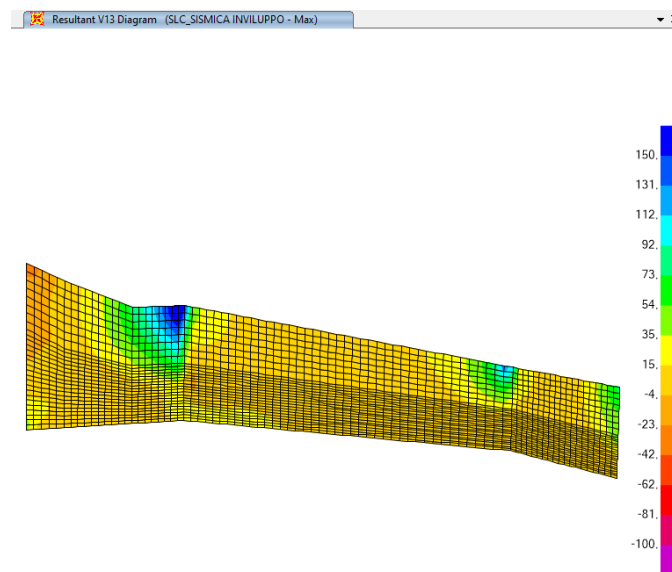
#### MOMENTO M22



Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 300kNm$ .

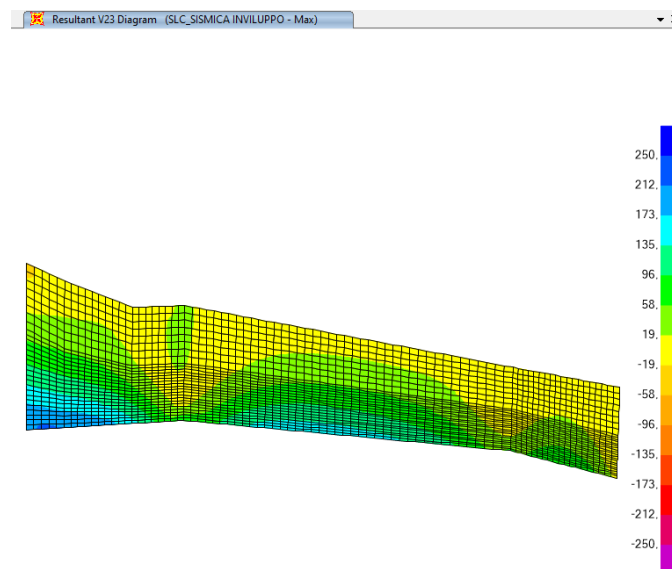
Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 120kNm$ .

### TAGLIO V13



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 120kN$ .

### TAGLIO V23



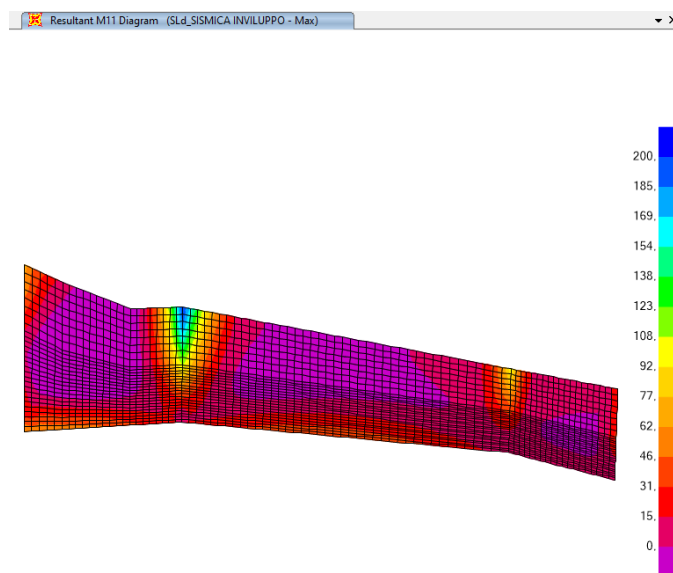


Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 200kNm$ .

Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 150kN$ .

### 8.7.2.2 Risultati SLE

#### MOMENTO M11

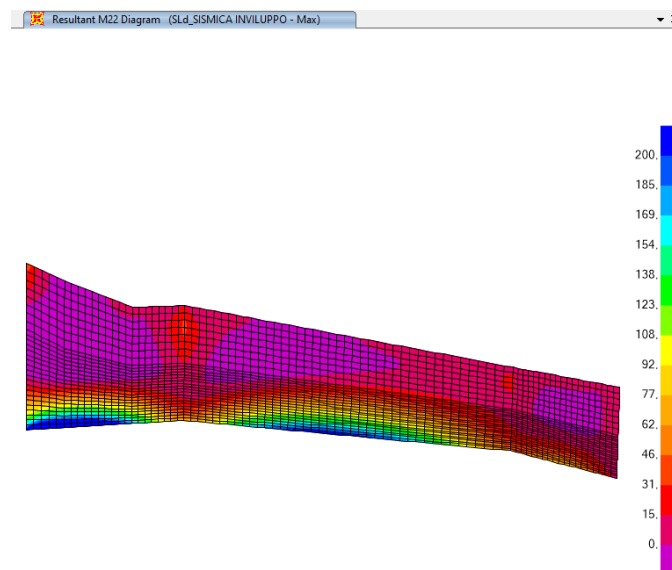


Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 100kNm$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## MOMENTO M22



Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 200 \text{ kNm}$ .

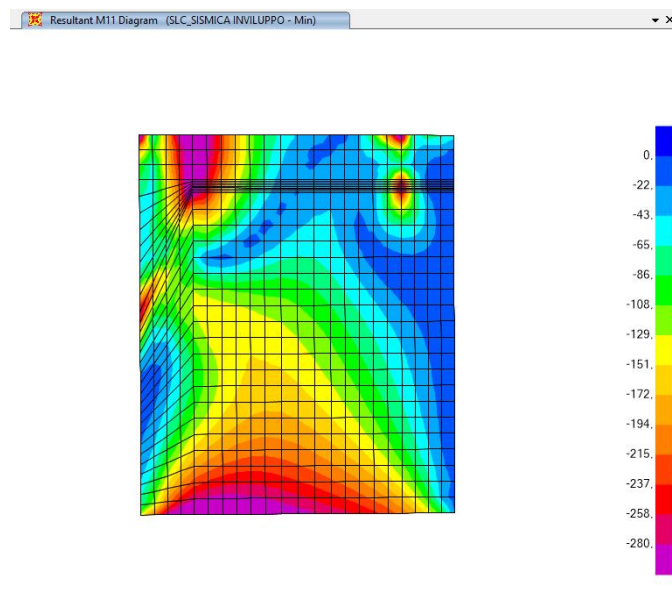
Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 90 \text{ kNm}$ .

## 8.7.3 Setti

### 8.7.3.1 Risultati SLU

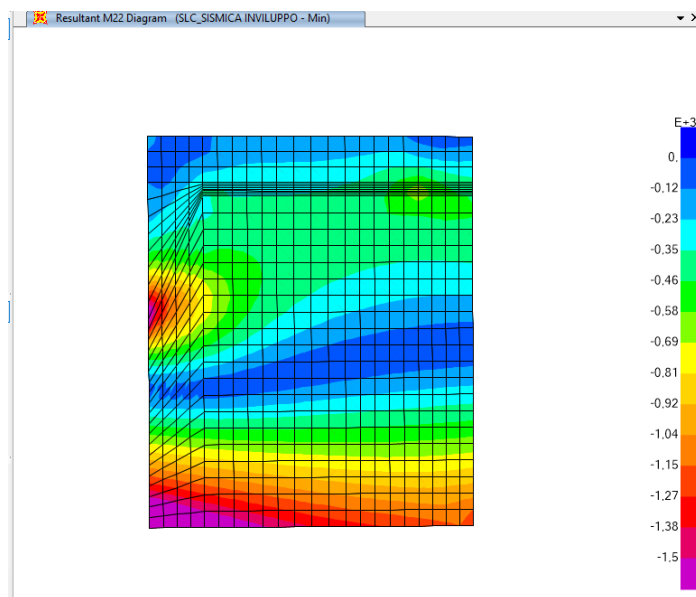
I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m/m (momenti) e in kN/m (forze).

#### MOMENTO M11



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 250 \text{ kNm}$

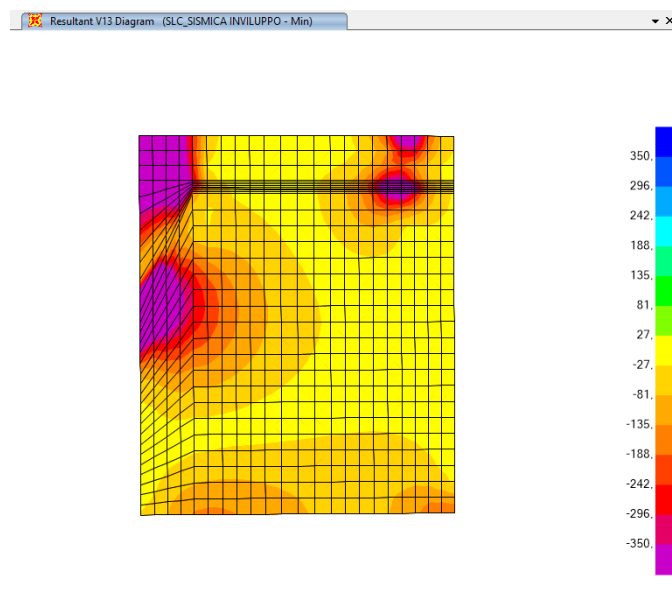
#### MOMENTO M22



Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 1200kNm$ .

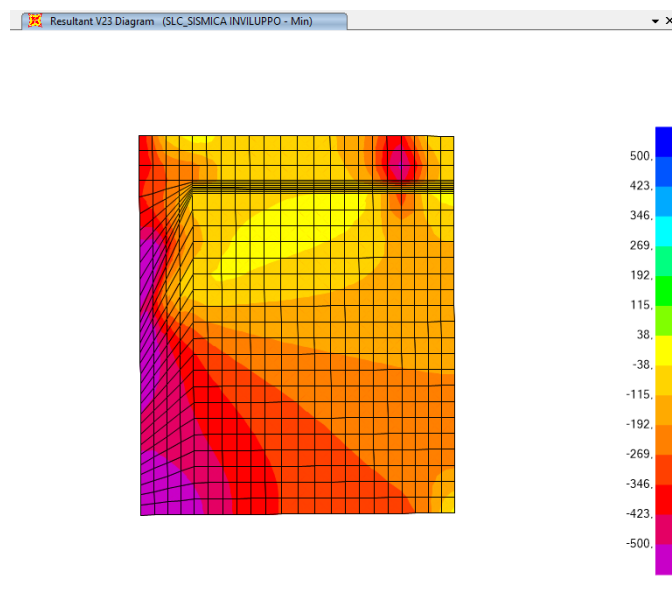
Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 700kNm$ .

### TAGLIO V13



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 300kN$ .

### TAGLIO V23

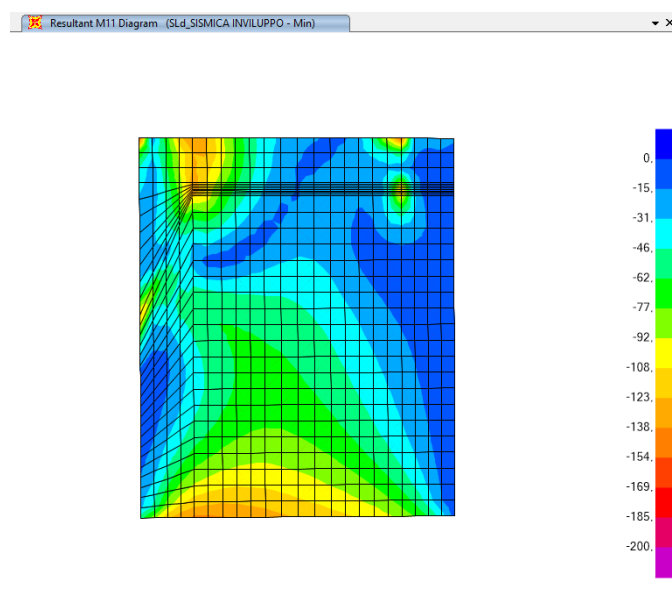


Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 400 kNm$ .

Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 250 kN$ .

### 8.7.3.2 Risultati SLE

#### MOMENTO M11

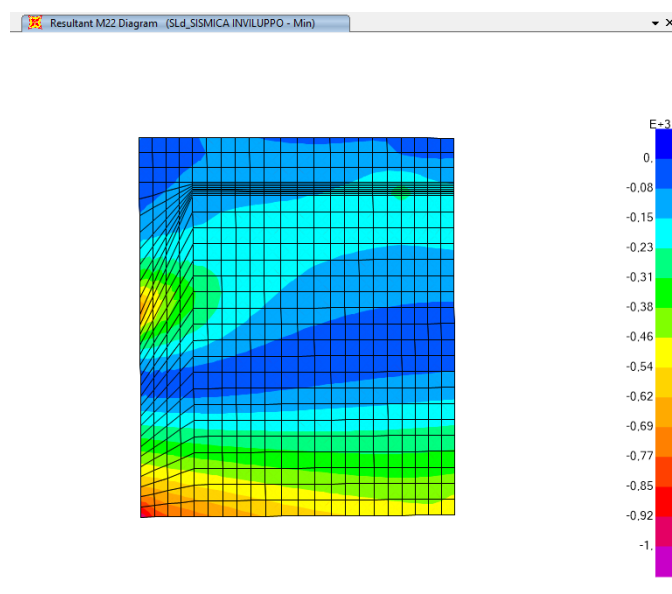


Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 100 kNm$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## MOMENTO M22



Per il predimensionamento delle chiamate (armatura verticale alla base del muro) si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 600 \text{ kNm}$ .

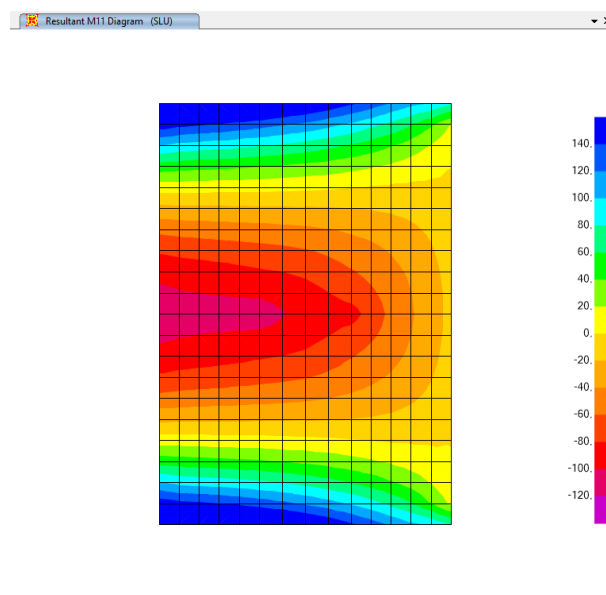
Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 300 \text{ kNm}$ .

## 8.7.4 Soletta carrabile

### 8.7.4.1 Risultati SLU

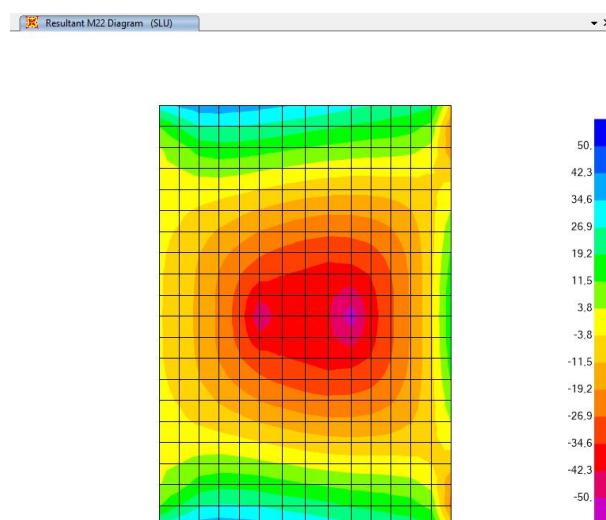
I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m/m (momenti) e in kN/m (forze).

#### MOMENTO M11



Per il dimensionamento delle armature longitudinali (parallele all'asse dell'argine) si è considerata una sollecitazione media pari a  $M_{Ed} = 120 \text{ kNm}$ .

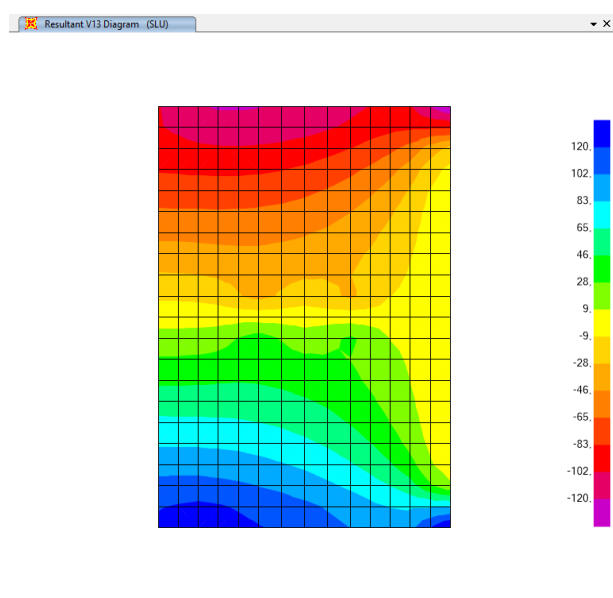
#### MOMENTO M22





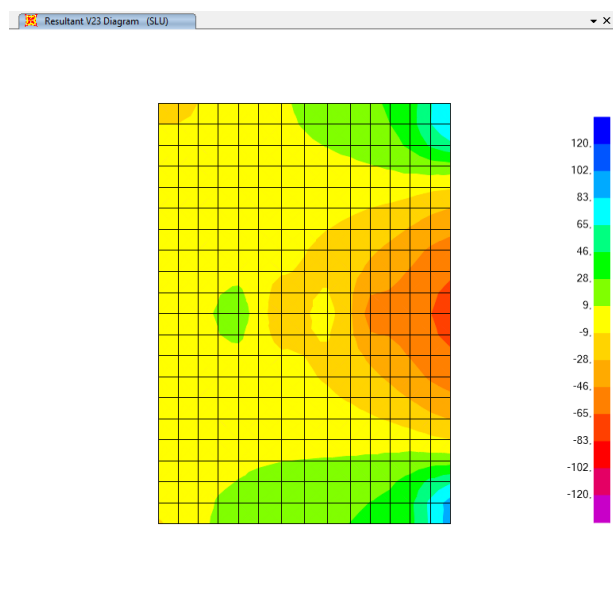
Per il dimensionamento delle armature trasversali (parallele alla dimensione minore della soletta) si è considerata una sollecitazione media pari a  $M_{Ed} = 45 \text{ kNm}$ .

### TAGLIO V13



Per il dimensionamento delle armature longitudinali (parallele all'asse dell'argine) si è considerata una sollecitazione media pari a  $V_{Ed} = 100 \text{ kNm}$ .

### TAGLIO V23

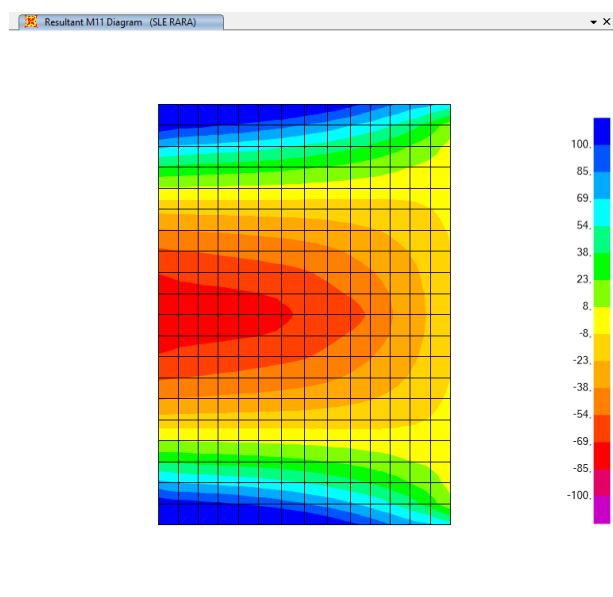




Per il dimensionamento delle armature trasversali (parallele alla dimensione minore della soletta) si è considerata una sollecitazione media pari a  $V_{Ed} = 70 \text{ kNm}$ .

#### 8.7.4.2 Risultati SLE

##### MOMENTO M11

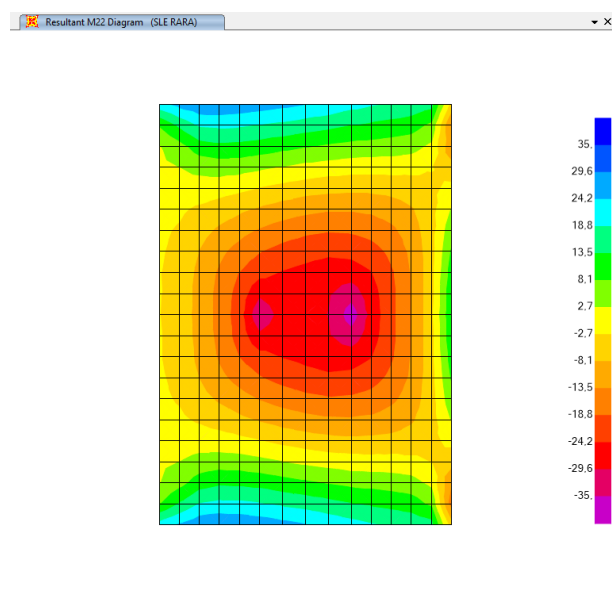


Per il dimensionamento delle armature longitudinali (parallele all'asse dell'argine) si è considerata una sollecitazione media pari a  $M_{Ed} = 100 \text{ kNm}$ .

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### MOMENTO M22



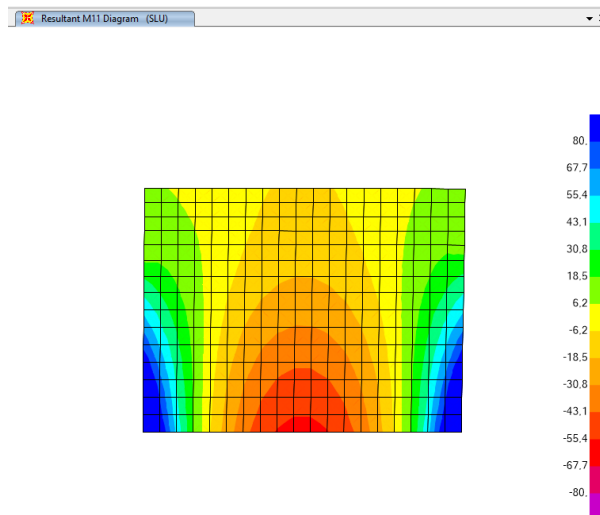
Per il dimensionamento delle armature trasversali (parallele alla dimensione minore della soletta) si è considerata una sollecitazione media pari a  $M_{Ed} = 30 \text{ kNm}$ .

## 8.7.5 Trave frontale TF

### 8.7.5.1 Risultati SLU

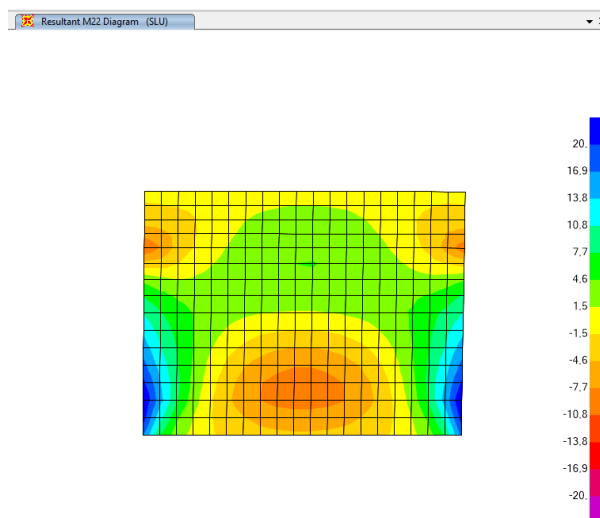
I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m/m (momenti) e in kN/m (forze).

#### MOMENTO M11



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 80 \text{ kNm}$

#### MOMENTO M22

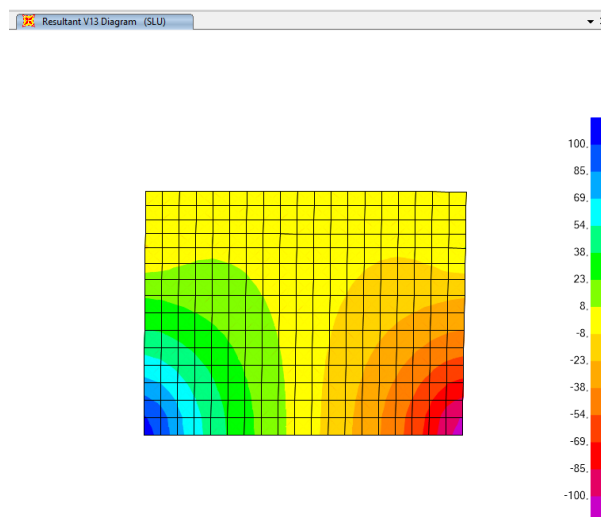


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

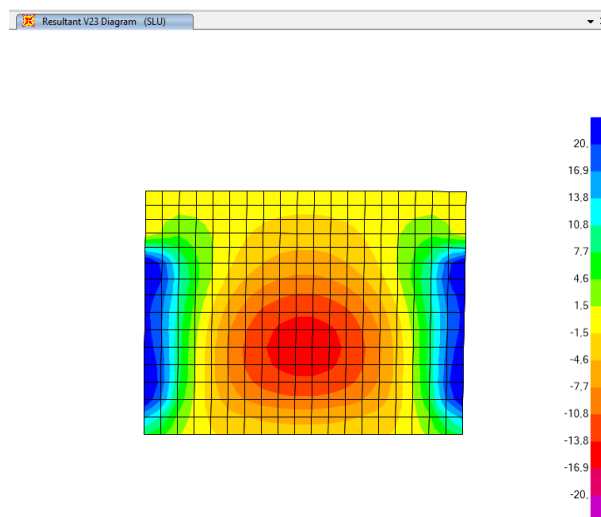
Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 10kNm$ .

### TAGLIO V13



Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 70 kN$ .

### TAGLIO V23



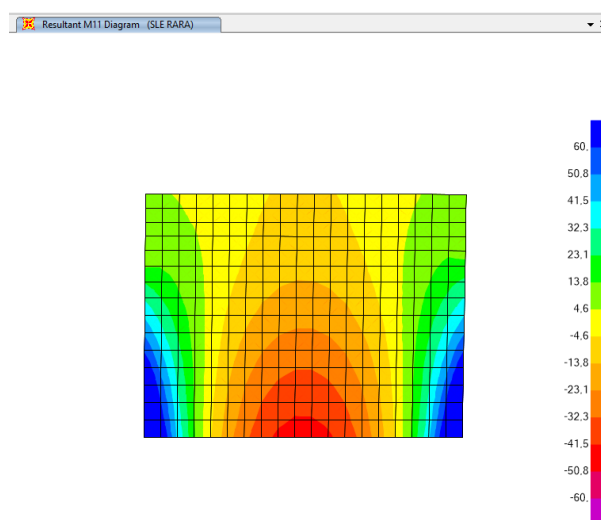
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $V_{Ed} = 10kN$ .

#### 8.7.5.2 Risultati SLE

##### MOMENTO M11

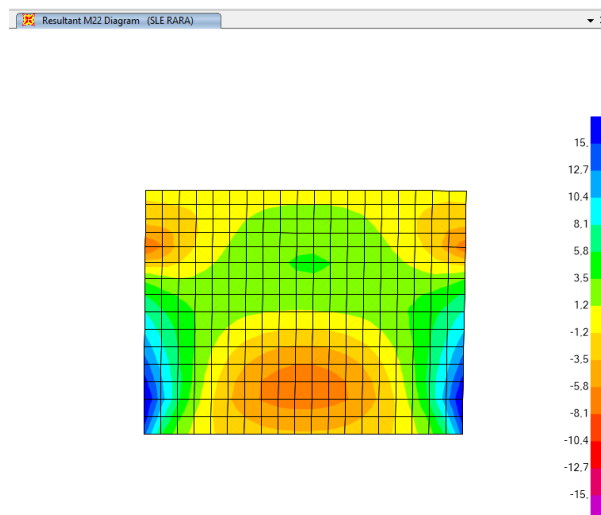


Per il predimensionamento dei partitori orizzontali si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 50 kNm$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## MOMENTO M22



Per il predimensionamento dell'armatura verticale ordinaria si è considerata una sollecitazione media pari  $M_{Ed} = 7 \text{ kNm}$ .

## 8.8 Verifiche effettuate

Sono state effettuate le seguenti verifiche in accordo con la normativa:

- RESISTENZA FLESSIONALE (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.4];
- RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.5];
- FESSURAZIONE (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.2];
- TENSIONI DI ESERCIZIO (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.5].

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 8.8.1 Muro di sponda - monte

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>400.00</b>	<b>0.00</b>	<b>250.00</b>
<b>RARA</b>	<b>300.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>300.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>300.00</b>		

#### VERIFICA MURO DI SPONDA MONTE - CHIAMATE

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{cm}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica a taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	250.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$8 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 299.83 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0051 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd 2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 223.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd 1} ; V_{Rd 2}) = 299.83 \text{ kN} > V_{Ed} = 250.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	400.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \text{ MPa}$$

armatura compressa in campo elastico

armatura tesa alla tensione  $f_{yd}$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$9,519 x^2 + 1,317,297 x - 140,853,307 = 0$$

$$x = 7.08 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 215.59 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1063.69	kNm	>	$M_{Ed} =$	400.00	kNm
------------	---------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	300.00	kNm					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	76.65	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	20.94	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	2,132,306	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.95	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	114.09	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	300.00	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	76.65	cm <sup>2</sup>			
$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	20.94	cm			
$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 =$	2,132,306	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 114.09 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00037 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00033$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 19.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.031 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 30.31 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} =$	0.113	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} =$	2.95	MPa	$<$	$0.45 \cdot f_{ck} =$	9.34	MPa
--	------	-----	-----	-----------------------	------	-----

$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} =$	114.09	MPa	$<$	$0.8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	----------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	300.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	76.65	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	20.94	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	2,132,306	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 114.09 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00037 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00033$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 19.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.031 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 30.31 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.113 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>200.00</b>	<b>0.00</b>	<b>180.00</b>
<b>RARA</b>	<b>80.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>80.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>80.00</b>		

#### VERIFICA MURO DI SPONDA MONTE - ARMATURE VERTICALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

**Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio**

$V_{Ed, base} =$	180.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 251.50 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 223.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 251.50 \text{ kN} > V_{Ed} = 180.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	200.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 777,421 & \quad x & - & 83,126,542 & = & 0 \\ x & = & 6.11 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 133.99 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	633.87	kNm	>	$M_{Ed} =$	200.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	80.00	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	17.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	1,353,444	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.03	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	51.00	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	80.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 45.24 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 17.48 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 1,353,444 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 51.00 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00015$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 20.84 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 40.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.018$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 39.55 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.058 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.03 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 51.00 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	80.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	17.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,353,444	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 51.00 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00015$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 20.84 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.018 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 39.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.058 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>200.00</b>	<b>0.00</b>	<b>150.00</b>
<b>RARA</b>	<b>100.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>100.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>100.00</b>		

#### VERIFICA MURO DI SPONDA MONTE - ARMATURE ORIZZONTALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio **B450C**

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	150.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	$cm^2$	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	$cm^2$	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_C + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 175.58 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0010 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 223.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 223.28 \text{ kN} > V_{Ed} = 150.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	200.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c = \epsilon_{cu} &= 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s = f_{yd} &= 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 264,539 & \quad x & - & 28,286,115 & = & 0 \\ x & = & 4.24 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -132.56 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	223.88	kNm	>	$M_{Ed} =$	200.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	11.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	521,111	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.20	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	182.85	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	11.48	cm			
$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 =$	521,111	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 182.85 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00014 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00052$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 22.84 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 55.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} =$	0.291	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} =$	2.20	MPa	$<$	$0.45 \cdot f_{ck} =$	9.34	MPa
--	------	-----	-----	-----------------------	------	-----

$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} =$	182.85	MPa	$<$	$0.8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	----------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	11.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	521,111	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 182.85 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00014 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00052$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 22.84 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 55.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.291 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## 8.8.2 Muro di sponda – valle

	$M_{ED}$ [ kNm/m ]	$N_{ED}$ [ kN/m ]	$T_{ED}$ [ kN/m ]
SLU	300.00	0.00	200.00
RARA	200.00		
FREQ.	200.00		
Q. PERM.	200.00		

### VERIFICA MURO DI SPONDA VALLE - CHIAMATE

#### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{cm}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

#### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

#### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	200.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 299.83 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0051 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 223.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 299.83 \text{ kN} > V_{Ed} = 200.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	300.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \text{ MPa}$$

armatura compressa in campo elastico

armatura tesa alla tensione  $f_{yd}$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$9,519 x^2 + 1,317,297 x - 140,853,307 = 0$$

$$x = 7.08 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 215.59 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1063.69	kNm	>	$M_{Ed} =$	300.00	kNm
------------	---------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	200.00	kNm					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	76.65	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	20.94	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	2,132,306	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.96	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	76.06	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	200.00	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 76.65 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 20.94 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 2,132,306 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 76.06 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00019 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00022$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 19.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.031 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 30.31 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.066 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.96 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 76.06 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	200.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+ 5	$\Phi 20 =$	38.33	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	76.65	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	20.94	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	2,132,306	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 76.06 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00019 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00022$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 19.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.031 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 30.31 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.066 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>120.00</b>	<b>0.00</b>	<b>150.00</b>
<b>RARA</b>	<b>90.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>90.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>90.00</b>		

#### VERIFICA MURO DI SPONDA VALLE - ARMATURE VERTICALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	150.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 251.50 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 223.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 251.50 \text{ kN} > V_{Ed} = 150.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	120.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 777,421 & \quad x & - & 83,126,542 & = & 0 \\ x & = & 6.11 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 133.99 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	633.87	kNm	>	$M_{Ed} =$	120.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	90.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	17.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,353,444	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.16	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	57.37	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	90.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 45.24 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 17.48 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 1,353,444 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 57.37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00000 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$\kappa_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 20.84 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 40.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.018$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 39.55 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.065 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 1.16 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 57.37 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	90.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	17.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,353,444	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 57.37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00000 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 20.84 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.018 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 39.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.065 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>200.00</b>	<b>0.00</b>	<b>120.00</b>
<b>RARA</b>	<b>100.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>100.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>100.00</b>		

#### VERIFICA MURO DI SPONDA VALLE - ARMATURE ORIZZONTALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	75	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica ai  
tagli e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	120.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	$cm^2$	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	$cm^2$	

con:

$b_w = b =$	100	cm		$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm		$d =$	75	cm

$$8 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 175.58 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.52 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0010 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd 2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 223.28 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.298$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd 1} ; V_{Rd 2}) = 223.28 \text{ kN} > V_{Ed} = 120.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	200.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 264,539 & \quad x & - & 28,286,115 & = & 0 \\ x & = & 4.24 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -132.56 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	223.88	kNm	>	$M_{Ed} =$	200.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	100.00	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	11.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	521,111	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.20	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	182.85	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 15.39 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 11.48 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 521,111 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 182.85 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00014 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00052$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 22.84 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 55.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.291 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 2.20 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 182.85 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	75	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	11.48	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	521,111	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 182.85 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00014 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00052$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 22.84 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 55.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.291 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 8.8.3 Setti

	$M_{ED}$ [ kNm/m ]	$N_{ED}$ [ kN/m ]	$T_{ED}$ [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>1200.00</b>	<b>0.00</b>	<b>400.00</b>
<b>RARA</b>	<b>600.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>600.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>600.00</b>		

#### VERIFICA SETTO - CHIAMATE

##### Caratteristiche dei materiali

- CIs  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{cm}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa

*coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

*coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio*

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	145	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	400.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 367.62 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.37 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0018 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 15,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 371.27 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.256$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 371.27 \text{ kN} < V_{Ed} = 400.00 \text{ kN}$$

Risulta necessario predisporre idonea armatura a taglio:

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Elemento con armature trasversali resistenti a taglio

	$\Phi 14$	
$s =$	passo 30	cm
$n^{\circ}$ bracci =	1	
$A_{s,w} =$	1.539	$cm^2$

$\alpha =$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

$\alpha =$	90.00	$^{\circ}$	$=$	1.57	rad
$\cot \alpha =$	0.00	$\sin \alpha =$	1.00		

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$\cot^2 \theta = (b_w \cdot s \cdot (\alpha_c \cdot f_{cd})) / (A_{s,w} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha) =$	28.280	$\rightarrow$	$\cot \theta =$	2.500
$\alpha_c =$	1			

Resistenza di calcolo a "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{s,w} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha =$	655.07 kN
--	-----------

Resistenza di calcolo a "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) =$	2645.63 kN
---	------------

$f_{cd} = \sqrt{f_c} = 0.5 \cdot f_{cd}$

$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) =$	655.07	kN	$>$	$V_{Ed} =$	400.00	kN
---------------------------------------	--------	----	-----	------------	--------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	1,200.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>
	$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S, compr} - A_{S, tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S, compr} = A_{S, tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S, compr} + f_{yd} * A_{S, tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S, compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 878,198 & \quad x & - & 93,902,204 & = & 0 \\ x & = & 6.34 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 155.19 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S, tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S, compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	1414.04	kNm	>	$M_{Ed} =$	1,200.00	kNm
------------	---------	-----	---	------------	----------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	600.00	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>	
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	51.10	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			27.10	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			6,178,282	cm <sup>4</sup>	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.63	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	171.75	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	600.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+ 3	$\Phi 20 =$	25.55	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 51.10 \text{ cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} = 27.10 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 6,178,282 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.75 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00058 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00049$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 40.97 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 75.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.020$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 36.96 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} = 0.213 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 2.63 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.75 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	600.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	Φ24	+ 3	Φ 20=	25.55	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	Φ24	+ 3	Φ 20=	25.55	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	51.10	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	27.10	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	6,178,282	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.75 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00058 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00049$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 40.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 75.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.020 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 36.96 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.213 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>700.00</b>	<b>0.00</b>	<b>250.00</b>
<b>RARA</b>	<b>300.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>300.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>300.00</b>		

#### VERIFICA SETTO - ARMATURE VERTICALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio **B450C**

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	145	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	250.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm		$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm		$d =$	145	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 308.36 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.37 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0010 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 15,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 371.27 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.256$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 371.27 \text{ kN} > V_{Ed} = 250.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	700.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 518,281 & \quad x & - & 55,417,694 & = & 0 \\ x & = & 5.38 & \text{cm} & & & x_1 & = & 10.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 51.78 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	840.25	kNm	>	$M_{Ed} =$	700.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	300.00	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>	
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>	

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	30.16	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	21.92	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	3,842,384	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.71	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	144.15	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	300.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	30.16	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	21.92	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	3,842,384	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 144.15 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00030 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00041$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 42.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 75.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.012 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 50.82 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.209	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.71	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	9.34	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	144.15	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	300.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	15.08	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	30.16	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	21.92	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	3,842,384	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 144.15 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00030 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00041$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 42.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 75.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.012 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 50.82 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.209 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>250.00</b>	<b>0.00</b>	<b>300.00</b>
<b>RARA</b>	<b>100.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>100.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>100.00</b>		

#### VERIFICA SETTO - ARMATURE ORIZZONTALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio **B450C**

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm
$d =$	145	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	300.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_C + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 215.28 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.37 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0004 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 15,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 371.27 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.256$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 371.27 \text{ kN} > V_{Ed} = 300.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	250.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 10.7 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$\epsilon_c = \epsilon_{cu} =$	0.0035				
$\sigma'_s < f_{yd}$					armatura compressa in campo elastico
$\sigma_s = f_{yd} =$	391.30	MPa			armatura tesa alla tensione $f_{yd}$

$$* b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1,018 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$9,519 x^2 + 176,359 x - 18,857,410 = 0$$

$$x = 3.62 \text{ cm} < x_1 = 10.69 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -280.21 \text{ MPa}$$

$$d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	293.14	kNm	>	$M_{Ed} =$	250.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	10.26	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	13.73	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,418,458	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.97	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	138.81	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	10.26	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	13.73	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,418,458	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 138.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00042 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00040$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 45.42 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 75.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.004 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 74.98 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.297	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.97	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	9.34	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	138.81	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	5.13	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	150	cm
$d' =$	5	cm	$d =$	145	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	10.26	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	13.73	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1,418,458	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 138.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00042 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00040$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 12.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 45.42 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 75.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1250.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.004 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 74.98 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.297 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 8.8.4 Soletta carrabile

	$M_{ED}$ [ kNm/m ]	$N_{ED}$ [ kN/m ]	$T_{ED}$ [ kN/m ]
SLU	45.00	0.00	70.00
RARA	30.00		
FREQ.	30.00		
Q. PERM.	30.00		

#### VERIFICA SOLETTA - ARMATURE TRASVERSALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm
$d =$	47	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

**Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio**

$V_{Ed, base} =$	70.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = \mathbf{200.68} \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = \mathbf{1.65} \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = \mathbf{0.0048} \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \mathbf{0.00} \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 5,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = \mathbf{159.15} \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.339$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = \mathbf{200.68} \text{ kN} > V_{Ed} = \mathbf{70.00} \text{ kN}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	45.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 6.4 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & x^2 + 777,421 x - 49,875,925 = 0 \\ x &= 4.23 \text{ cm} && x_1 = 6.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 213.41 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	394.44	kNm	>	$M_{Ed} =$	45.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	-------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	30.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	12.84	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	499,336	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.77	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	30.78	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	30.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	12.84	cm			
$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 =$	499,336	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 30.78 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00009$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 12.39 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.030 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 23.73 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} =$	0.021	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} =$	0.77	MPa	$<$	$0.45 \cdot f_{ck} =$	9.34	MPa
--	------	-----	-----	-----------------------	------	-----

$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} =$	30.78	MPa	$<$	$0.8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	----------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	30.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	12.84	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	499,336	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 30.78 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00009$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff2} &= (h - x) / 3 = 12.39 \text{ cm} \\ h_{c,eff3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,effi}) * b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.030 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 23.73 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.021 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>120.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
<b>RARA</b>	<b>100.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>100.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>100.00</b>		

#### VERIFICA SOLETTA - ARMATURE LONGITUDINALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa

*coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*

- Acciaio **B450C**

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

*coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio*

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm
$d =$	47	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	100.00	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 155.25 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.65 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 5,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 159.15 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.339$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 159.15 \text{ kN} > V_{Ed} = 100.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	120.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' =$	6.4	cm			

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$\epsilon_c = \epsilon_{cu} =$	0.0035			
$\sigma'_s < f_{yd}$				armatura compressa in campo elastico
$\sigma_s = f_{yd} =$	391.30	MPa		armatura tesa alla tensione $f_{yd}$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove:  $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{array}{rclclcl} 9,519 & x^2 & + & 359,917 & x & -23,090,706 & = 0 \\ & x = & 3.39 & \text{cm} & & & \\ & & & & & x_1 = & 6.42 \text{ cm} \end{array}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 83.61 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	185.43	kNm	>	$M_{Ed} =$	120.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.94	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	9.78	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	256,009	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.82	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	218.08	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 20.94 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 9.78 \text{ cm}$$

$$J_{ess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 256,009 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{ess} = 218.08 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00070 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00062$$

$$\begin{aligned} \kappa_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.41 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.014 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.242 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{ess} = 3.82 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{ess} = 218.08 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	10.47	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.94	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.78	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	256,009	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 218.08 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00070 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00062$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 13.41 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.014 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.242 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 8.8.5 Trave frontale TF

	$M_{ED}$ [ kNm/m ]	$N_{ED}$ [ kN/m ]	$T_{ED}$ [ kN/m ]
SLU	10.00	0.00	10.00
RARA	7.00		
FREQ.	7.00		
Q. PERM.	7.00		

#### VERIFICA TRAVE FRONTALE TF - ARMATURE VERTICALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_C =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
$\gamma_S =$	1.15	
$E_S =$	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm
$d =$	47	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica a taglio e alla flessione.

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	10.00	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$8 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 97.80 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.65 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0006 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 5,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 159.15 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.339$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 159.15 \text{ kN} > V_{Ed} = 10.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	10.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 6.4 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 89,979 & \quad x & - & 5,772,677 & = & 0 \\ x & = & 2.03 & \text{ cm} & & & x_1 & = & 6.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -348.57 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	49.25	kNm	>	$M_{Ed} =$	10.00	kNm
------------	-------	-----	---	------------	-------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	7.00	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	5.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	5.53	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	73,423	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.53	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	59.30	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di sicurezza e la verifica della

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 5.24 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d') / (1 + \gamma))^{0.5}] = 5.53 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot d^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 73,423 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 59.30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00098 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 7.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 14.82 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 25.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 750.00 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.003$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 58.90 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.100 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 0.53 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 59.30 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 30	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	2.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	5.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.53	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	73,423	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 59.30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00098 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 14.82 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.003 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 58.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.100 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>80.00</b>	<b>0.00</b>	<b>70.00</b>
<b>RARA</b>	<b>50.00</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>50.00</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>50.00</b>		

#### VERIFICA TRAVE FRONTALE TF - ARMATURE ORIZZONTALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm
$d =$	47	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	70.00	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 200.68 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.65 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0048 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 5,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 159.15 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.339$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 200.68 \text{ kN} > V_{Ed} = 70.00 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	80.00	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,comp} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 6.4 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,comp} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,comp} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,comp} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,comp} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 x^2 + 777,421 x - 49,875,925 &= 0 \\ x &= 4.23 \text{ cm} && x_1 = 6.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 213.41 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,comp} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	394.44	kNm	>	$M_{Ed} =$	80.00	kNm
------------	--------	-----	---	------------	-------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	50.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	12.84	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	499,336	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.29	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	51.30	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	50.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	12.84	cm			
$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 =$	499,336	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 51.30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00007 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00015$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 \cdot (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 12.39 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) \cdot b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.030 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 23.73 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} =$	0.035	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} =$	1.29	MPa	$<$	$0.45 \cdot f_{ck} =$	9.34	MPa
--	------	-----	-----	-----------------------	------	-----

$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} =$	51.30	MPa	$<$	$0.8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	----------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	50.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 24$	+	$\Phi =$	22.62	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	47	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	45.24	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	12.84	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	499,336	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 51.30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00007 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00015$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff2} &= (h - x) / 3 = 12.39 \text{ cm} \\ h_{c,eff3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,effi}) * b = 750.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.030 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 23.73 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.035 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

## 9 Predimensionamento del ponte di servizio

### 9.1 Descrizione delle opere

L'impalcato carrabile previsto in progetto in corrispondenza del manufatto regolatore e dello sbarramento esistente sarà composto da una soletta in c.a. di spessore 20 cm pavimentata con pacchetto stradale così composto: strato di 7 cm di binder compatto più 3 cm di tappeto di usura; la pavimentazione è contenuta entro cordoli lato strada di altezza 20 cm su cui verrà installato il guard-rail classe H2 bordo ponte. La larghezza corrente lorda dell'impalcato sarà pari a 6.40 metri, tranne in corrispondenza della porzione mediana dove verrà realizzata una piazzola di larghezza 9.40 m per la costruzione dell'edificio servizi.

La quota piano strada del ponte di servizio sarà pari a 52,70 m slm e la quota intradosso sarà pari a 51.50 m slm. L'impalcato verrà realizzato con travi prefabbricate precomprese, appoggiate su pulvini, sorretti da pile di sostegno di dimensioni 3.0 x 1.0 metri, collocate ad interasse di 18.00 metri e 14.60 metri rispettivamente sui lati lunghi e sul lato corto del nuovo manufatto regolatore. In corrispondenza dell'edificio servizi le pile avranno dimensione 6.0 x 1.0 metri.

## 9.2 Disegni di riferimento

Gli elaborati grafici relativi alle opere in analisi sono elencati nella tabella seguente.

Codice tavola	Titolo tavola	Scala
Tav. A.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Planimetria di progetto	1:500
Tav. A.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 56.20 m s.l.m. (Copertura)	1:200
Tav. A.4.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da A-A a C-C	1:200
Tav. A.4.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da D-A a H-H	1:200
Tav. A.5.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 52.60 m s.l.m. (Impalcato ponte di servizio)	1:200
Tav. A.5.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 50.30 m s.l.m. (scarico di superficie)	1:200
Tav. A.5.3.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 46.75 m s.l.m. (Muri manufatto di regolazione)	1:200
Tav. A.5.3.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri del manufatto di sbarramento e regolazione	indicata
Tav. A.5.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 38.00 m s.l.m. (Piano fondazione)	1:200
Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200
Tav. A.11.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: manufatto	indicata



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Tav. A.11.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: soletta passerella ed edificio servizi	indicata
----------------	--	----------



## 9.3 Caratteristiche dei materiali strutturali

### 9.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione dell'impalcato in progetto è pari a 30 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.8 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 14 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

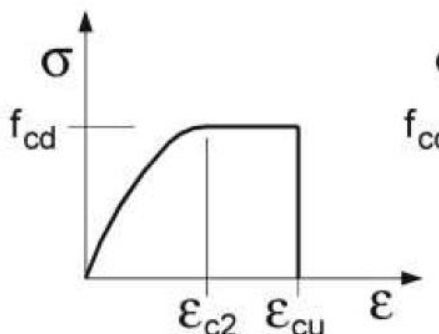
La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.19 \text{ MPa}$$

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 31500 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20‰ e 0.35‰.

### 9.3.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento  $f_{y,nom}$  e della tensione a carico massimo  $f_{t,nom}$  da utilizzare nei calcoli [NTC 2018 – Par. 11.3.2.1]:

$$f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

Tra i requisiti richiesti da normativa [NTC 2018 – Tab. 11.3.Ib] sono specificati i due vincoli seguenti in merito ai valori caratteristici delle tensioni.

$$f_{y,k} \geq f_{y,nom}$$

$$f_{t,k} \geq f_{t,nom}$$

Pertanto i valori considerati per le tensioni caratteristiche sono i seguenti:

$$f_{y,k} = f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

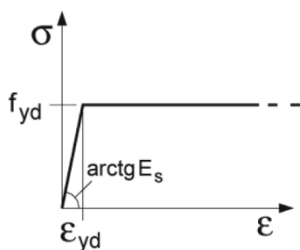
$$f_{t,k} = f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto dell'acciaio  $f_{y,d}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore si ottiene come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2]:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cong 391.3 \text{ MPa}$$

essendo  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Il diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.2]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di elastico perfettamente plastico.



## 9.4 Valutazione dell'azione sismica

Per la valutazione dell'azione sismica si sono cautelativamente considerate le medesime procedure e i coefficienti descritti per lo sbarramento esistente al paragrafo 5.5, ovvero:

Impalcato T1=0.178 s		Se (T1) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.289	0.361	0.783	0.893
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.580	1.040	1.099

## 9.5 Definizione dei carichi

I carichi analizzati sono i medesimi considerati per l'analisi del manufatto regolatore e dello sbarramento esistente, ovvero:

➤ **PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE**

➤ **PESO PROPRIO MANTO STRADALE**

E' stato considerato applicando ad ogni trave da ponte il carico uniformemente distribuito  $p_{manto\_stradale}$  definito come segue:

$$p_{manto\_stradale} = s \cdot B \cdot c$$

dove:

- $s$  è lo spessore del manto stradale;
- $B$  è la larghezza della porzione di manto stradale pertinente a ciascuna trave;
- $c = 13 \text{ kN/m}^3$  è il peso per unità di volume del bitume.

➤ **PESO PROPRIO GUARDRAIL**

La presenza del guardrail è stata considerata applicando un carico uniformemente distribuito  $p_{guardrail} = 0.4 \text{ kN/m}$  (conservativo) lungo le travi esterne dell'impalcato.

➤ **MEZZI E PERSONE SULL'IMPALCATO**

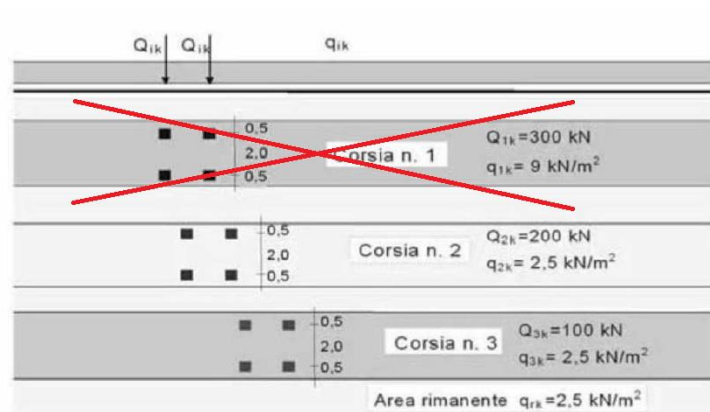
Si specifica innanzitutto che l'impalcato in progetto non è riconducibile ad un ponte stradale, in quanto su di esso si prevede la presenza di una strada privata, con permesso di accesso ai soli mezzi autorizzati, che dovranno peraltro rispettare limitazioni di carico.

Per questa ragione non si è ritenuto necessario considerare in maniera puntuale e sistematica gli schemi di carico definiti dalla normativa [NTC 2018 – Par. 5.2.3.3.3].

Piuttosto, la situazione maggiormente critica è stata valutata con riferimento allo schema di carico 1, ma trascurando la presenza del mezzo che genera un

carico di 300 kN per asse (il transito di veicoli tanto pesanti sull'implacato sarà vietato e impedito).

In definitiva è stata considerata la presenza di due veicoli parzialmente affiancati, con assi posteriori allineati in corrispondenza della mezzzeria delle travi. Cautelativamente si è assunto che su ciascuna corsia sia presente un mezzo da 400 kN (100 kN/ruota).



La distanza tra l'asse anteriore e quello posteriore è assunta pari a 7 m per entrambi i veicoli. Il carico distribuito è applicato su ogni trave tenendo conto che ognuna ha una larghezza di pertinenza  $B$  pari a 2.2 m.

$$q_{k, trave} = q_k \cdot B = 5.5 \text{ kN/m}$$

#### ➤ FORZE INERZIALI DOVUTE AL SISMA

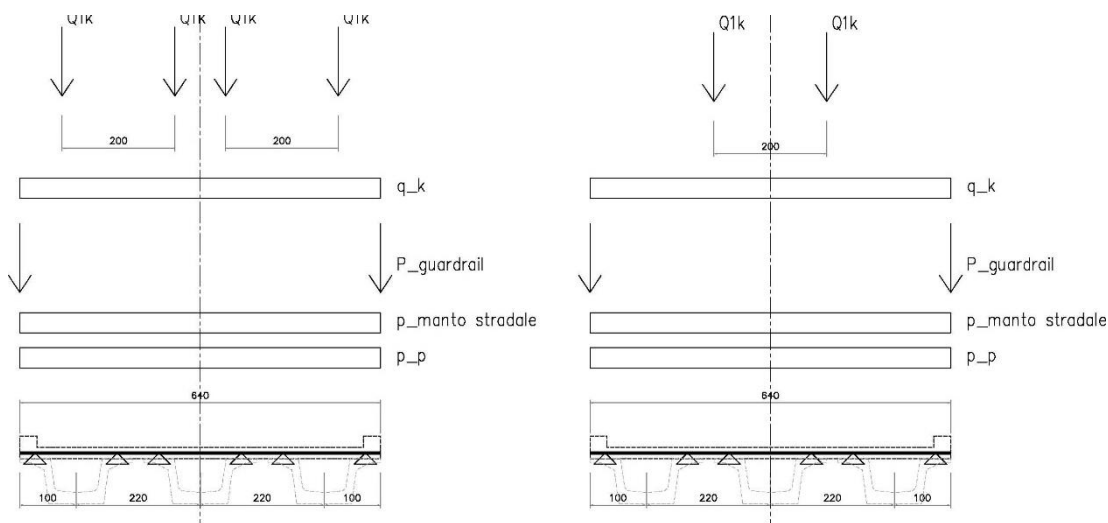
Le forze inerziali dovute al sisma (SLD e SLC) sono state applicate con le procedure e le accelerazioni descritte al paragrafo 9.4.

## 9.6 Dimensionamento della soletta

### 9.6.1 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

E' stata verificata una sezione trasversale della soletta di profondità unitaria, sui cui agiscono i carichi descritti in precedenza:

- $p_p$ =peso proprio della soletta
- $p_{\text{manto stradale}}$ = peso della pavimentazione
- $p_{\text{guardrail}}$ =peso del guardrail, agente sui cordoli
- $q_k$ = carico da traffico distribuito
- $Q_{1k}$ =carico da traffico concentrato: poiché si considera una sezione di larghezza unitaria, si sono considerati i seguenti schemi di carico:
  - Schema A: due mezzi affiancati
  - Schema B: un unico mezzo in mezzzeria





Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 5.1.3.14, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

COMBINAZIONI	SITUAZIONE PROGETTUALE	PESO PROPRIO	MANTO STRADALE/GUARDRAIL	AZIONI VARIABILI CONCENTRATE SULL'IMPALCATO	AZIONI VARIABILI DISTRIBUITE SULL'IMPALCATO	SISMA
SLU FONDAMENTALE	Schema A	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	Schema A	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	Schema A	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	Schema A	1	1	-	-	-
SLU FONDAMENTALE	Schema B	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	Schema B	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	Schema B	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	Schema B	1	1	-	-	-
SISMICA SLC		1	1	-	-	1
SISMICA SLD		1	1	-	-	1

### 9.6.2 Modellazione e risultati dell'analisi

La soletta è stata modellata per mezzo di elementi frame come da figura seguente.



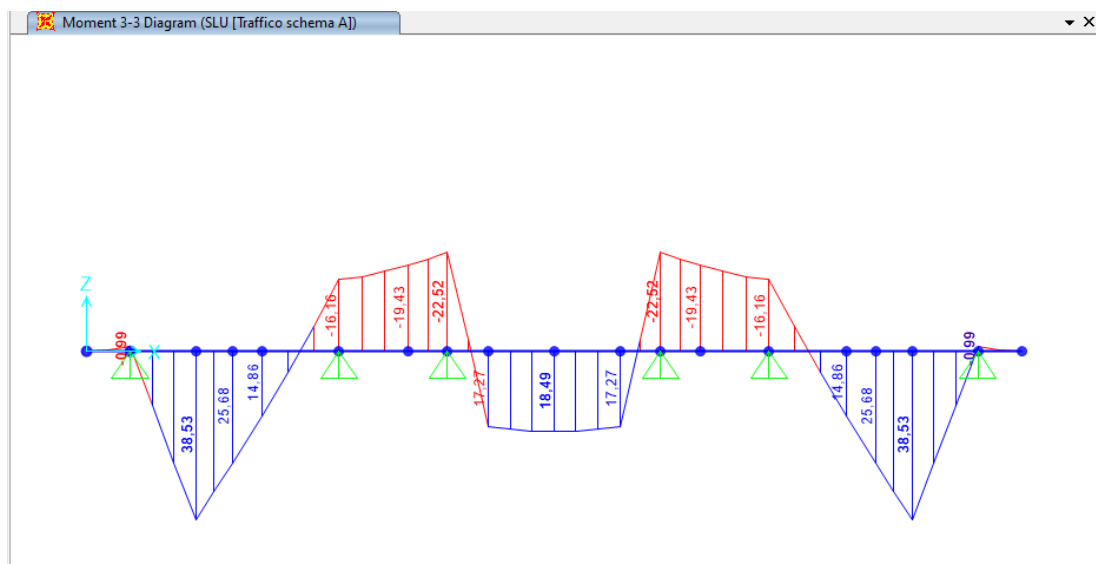
Le travi prefabbricate sono state modellate come vincoli di appoggio rigido.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

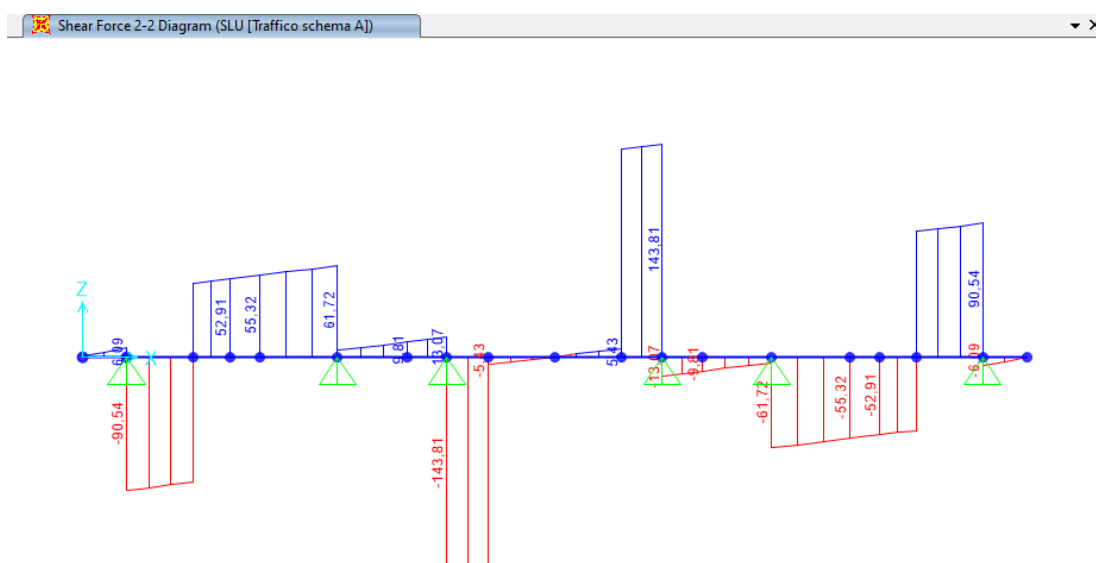
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 9.6.2.1 Risultati SLU

#### Momento M3

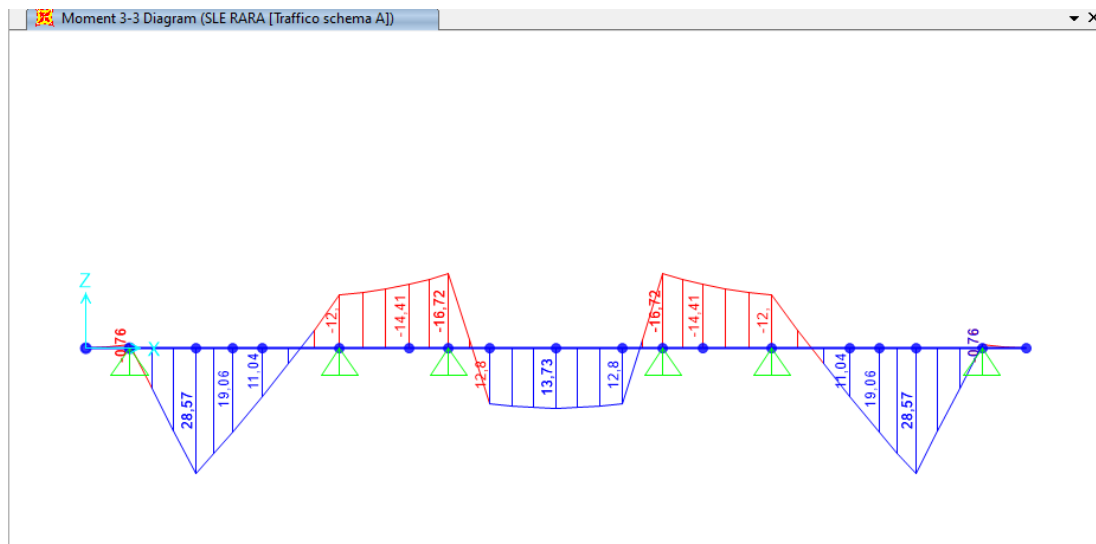


#### Taglio V2



### 9.6.2.2 Risultati SLE

#### Momento M3



### 9.6.3 Verifiche effettuate

Sono state effettuate le seguenti verifiche in accordo con la normativa:

- RESISTENZA FLESSIONALE (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.4];
- RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.5];
- FESSURAZIONE (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.2];
- TENSIONI DI ESERCIZIO (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.5].

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>38.53</b>	<b>0.00</b>	<b>143.81</b>
<b>RARA</b>	<b>28.57</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>28.57</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>28.57</b>		

### VERIFICA SOLETTA - ARMATURA TRASVERSALE

#### Caratteristiche dei materiali

- Cls  $R_{ck} \geq 25$  MPa

$R_{ck} =$	25.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	20.75	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	11.76	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.75	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	2.27	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	1.59	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.06	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	2.38	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	30,200	MPa	

- Acciaio **B450C**

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210,000	MPa	

#### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per  $f_{ck} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove  $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

#### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm
$d =$	17	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	143.81	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm		$h =$	110	cm
$d' =$	3	cm		$d =$	107	cm

$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d =$	210.18	kN
--	--------	----

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.43 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0007 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 11,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d =$	292.43	kN
--	--------	----

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.273$$

$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) =$	292.43	kN	>	$V_{Ed} =$	143.81	kN
---------------------------------------	--------	----	---	------------	--------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	38.53	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 6.4 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 x^2 + 264,539 x - 16,971,669 &= 0 \\ x &= 3.06 \text{ cm} < x_1 = 6.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 13.41 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	47.19	kNm	>	$M_{Ed} =$	38.53	kNm
------------	-------	-----	---	------------	-------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	28.57	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	4.87	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	21,241	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	6.55	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	244.76	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	28.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 15.39 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 4.87 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 21,241 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 244.76 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00085 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00070$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 7.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 5.04 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 10.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff i}) \cdot b = 504.39 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.015$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 25.80 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.220 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 6.55 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 244.76 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	28.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	4.87	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	21,241	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 244.76 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00085 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00070$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 5.04 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 10.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 504.39 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.015 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 25.80 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.220 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

## 9.7 Selezione dei sistemi di appoggio travi

Gli appoggi sono stati selezionati in maniera tale da essere compatibili con il sistema di forze trasmesso dalle travi ai pulvini sottostanti. In altri termini, è stata garantita la resistenza del sistema di vincolo alle sollecitazioni verticali e orizzontali calcolate considerando le combinazioni di carico maggiormente critiche, in particolare:

- le forze verticali trasmesse agli appoggi dalle travi sono state valutate considerando la combinazione SLU FONDAMENTALE, nella quale si è prevista la presenza di veicoli sull'impalcato;
- le forze orizzontali sono state calcolate invece analizzando la combinazione SISMICA.

La procedura di calcolo delle sollecitazioni e conseguente selezione della tipologia di appoggio è stata effettuata sia per le travi UH80P sia per le travi VH80P considerando in via conservativa le luci massime di progetto, ovvero rispettivamente 24.90 m e 18.00 m.

Si tenga presente che si prevede la presenza di due appoggi per ciascuna delle estremità della trave UH80P, mentre agli estremi della trave VH80P sarà installato un singolo appoggio.

### 9.7.1 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

E' stata verificata la trave più sollecitata, ovvero quella centrale, sui cui agiscono i carichi descritti in precedenza:

- $pp$ =peso proprio della soletta
- $p_{\text{manto stradale}}$ = peso della pavimentazione
- $q_k$ = carico da traffico distribuito; il carico distribuito è applicato tenendo conto che ogni trave ha una larghezza di pertinenza  $B$  pari a circa 2.1 m.
- $Q_{1k}$ =carico da traffico concentrato: è stata considerata la presenza di due veicoli parzialmente affiancati, con assi posteriori allineati in corrispondenza della mezzaria delle travi. La distanza tra l'asse anteriore e quello posteriore è assunta pari a 7 m per entrambi i veicoli. La trave oggetto di verifica è quella

maggiormente sollecitata, ovvero quella centrale (si considera in via cautelativa che il carico trasmesso da uno pneumatico posteriore ed uno anteriore di ciascun veicolo si scarichi su di essa)

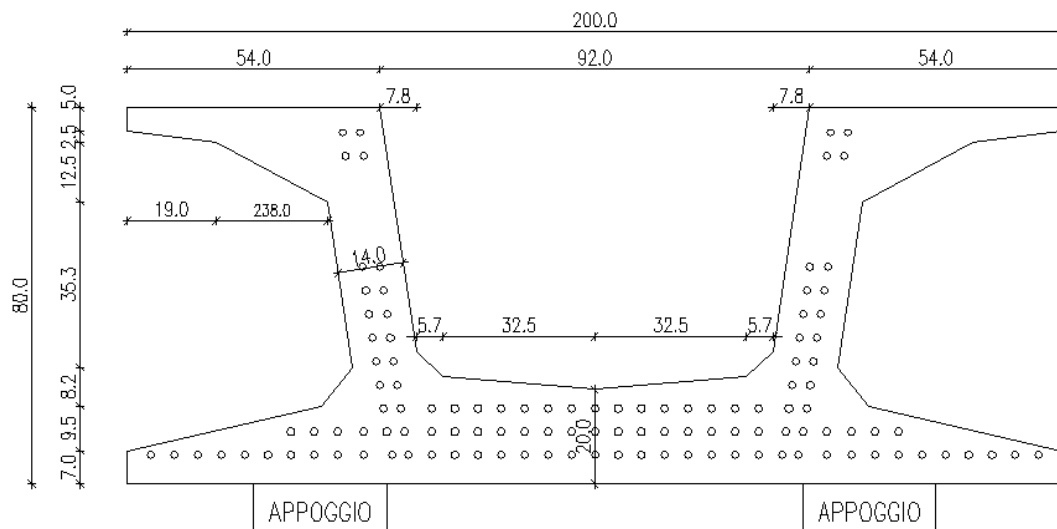
- sisma

Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 5.1.3.14, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

COMBINAZIONI	PESO PROPRIO	MANTO STRADALE/GUARDRAIL	AZIONI VARIABILI CONCENTRATE SULL'IMPALCATO	AZIONI VARIABILI DISTRIBUITE SULL'IMPALCATO	SISMA
SLU FONDAMENTALE	1.3	1.3	1.35	1.35	-
SLE RARA	1	1	1	1	-
SLE FREQUENTE	1	1	0.75	0.4	-
SLE QUASI PERMANENTE	1	1	-	-	-
SISMICA SLC	1	1	-	-	1

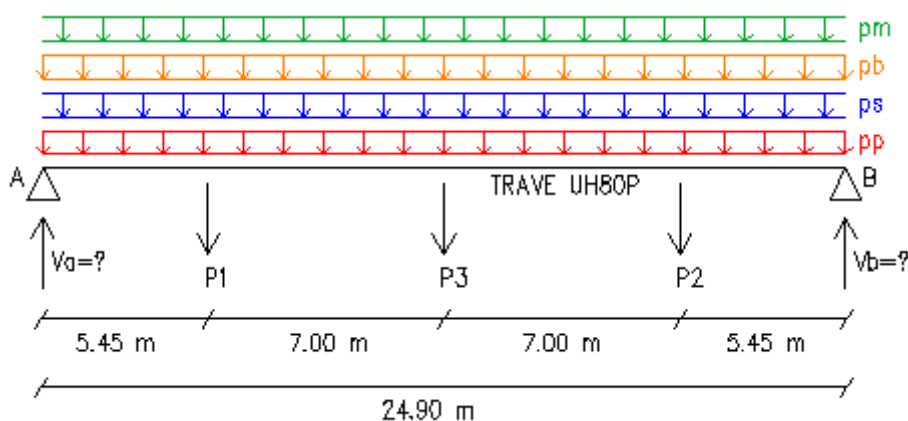
## 9.7.2 Trave UH80P

La sezione della trave UH80P è riportata nella figura di seguito.



### 9.7.2.1 Calcolo della forza verticale di progetto

Il problema è stato schematizzato come segue.



dove:

- $pp_k = A \cdot p_c = 0.62 \text{ m}^2 \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cong 15.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  è il carico riconducibile al peso proprio della trave, essendo  $A$  l'area della trave e  $p_c$  il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato (e/o precompresso) tabellato in normativa [NTC 2018 – Tab. 3.1.I.];

- $ps_k = s_s \cdot B \cdot p_c = 0.2 \text{ m} \cdot 2.1 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cong 10.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  è il carico riconducibile al peso proprio della soletta, essendo  $s_s$  lo spessore della soletta e  $B$  la larghezza di competenza della trave;
- $pb_k = s_m \cdot B \cdot p_b = 0.1 \text{ m} \cdot 2.1 \text{ m} \cdot 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cong 2.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  è il carico riconducibile al peso proprio del manto stradale, essendo  $s_m$  lo spessore del manto stradale e  $p_b$  il peso dell'unità di volume del bitume;
- $pm_k = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot B = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.1 \text{ m} \cong 5.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  è il carico accidentale uniformemente distribuito dovuto alla presenza di mezzi;
- $P1_k = 100 \text{ kN}$  è il carico concentrato in corrispondenza della ruota anteriore del primo veicolo;
- $P2_k = 100 \text{ kN}$  è il carico concentrato in corrispondenza della ruota anteriore del secondo veicolo;
- $P3_k = 100 \text{ kN} + 100 \text{ kN} = 200 \text{ kN}$  è il carico concentrato in corrispondenza delle ruote posteriori dei due veicoli.

I carichi sono stati amplificati come da normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 5.1.3.14]:

- $pp_d = pp_k \cdot 1.3 \cong 20.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $ps_d = ps_k \cdot 1.3 \cong 13.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $pb_d = pb_k \cdot 1.3 \cong 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $pm_d = pm_k \cdot 1.35 \cong 7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $P1_d = P1_k \cdot 1.35 \cong 135 \text{ kN}$
- $P2_d = P2_k \cdot 1.35 \cong 135 \text{ kN}$
- $P3_d = P3_k \cdot 1.35 \cong 270 \text{ kN}$

Imponendo l'equilibrio alla rotazione rispetto agli estremi della trave sono stati individuati i valori delle reazioni vincolari verticali:

$$V_a = V_b = 822 \text{ kN}$$

La forza verticale di progetto  $V_{Ed}$  è stata ottenuta considerando il valore delle reazioni vincolari e dividendolo per due (si ricordi che ad ogni estremità sono previsti due appoggi).

$$V_{Ed} = \frac{\max\{V_a; V_b\}}{2} \cong 411 \text{ kN}$$

### 9.7.2.2 Calcolo della forza orizzontale di progetto

Sulla trave agiscono i seguenti carichi orizzontali uniformemente distribuiti:

- $pp_{H,d} = pp_{H,k} = pp_k \cdot k_h = 15.5 \frac{kN}{m} \cdot 1.099 \cong 17 \text{ kN/m};$
- $ps_{H,d} = ps_{H,k} = ps_k \cdot k_h = 10.5 \frac{kN}{m} \cdot 1.099 \cong 11.5 \text{ kN/m};$
- $pb_{H,d} = pb_{H,k} = pb_k \cdot k_h = 2.7 \frac{kN}{m} \cdot 1.099 \cong 2.9 \text{ kN/m}.$

Imponendo l'equilibrio alla traslazione orizzontale si ottiene il valore delle due reazioni vincolari orizzontali  $H$  in corrispondenza degli estremi:

$$H = 391 \text{ kN}$$

La forza orizzontale di progetto  $H_{Ed}$  dividendo per due il valore della reazione vincolare.

$$H_{Ed} = \frac{H}{2} \cong 195.5 \text{ kN}$$

### 9.7.2.3 Tipologia di appoggio selezionata

Vista l'entità delle sollecitazioni, si prevede che venga impiegato un appoggio tipo ALGABLOC NB 300X600X41, o equivalente. Esso è costituito da strati alterni di gomma ed acciaio ed è privo di qualsiasi sistema d'ancoraggio di tipo meccanico alla struttura.

Come si evince dalla tabella seguente, i massimi valori delle forze verticali ed orizzontali  $V$  ed  $H$  compatibili con il sistema di vincolo selezionato sono maggiori rispetto alle azioni precedentemente calcolate.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

DATA	Dimensioni			hg	Combo 1			Combo 2			Kh	W
	Ht	A	B		V	H	s*	V	H	s*		
	mm	mm	mm		kN	kN	mm	kN	kN	mm		
NB 250x400xHt	30	250	400	16	2329	24	4,2	2318	118	21,0	5,63	9,8
	41	250	400	24	2695	22	5,8	2405	109	29,0	3,75	13,2
	52	250	400	32	2866	21	7,4	2396	104	37,0	2,81	16,6
	63	250	400	40	2959	20	9,0	2350	101	45,0	2,25	20,0
	74	250	400	48	2490	20	10,6	2030	99	53,0	1,88	23,4
	85	250	400	56	2119	20	12,2	1665	98	61,0	1,61	26,8
	96	250	400	64	1841	19	13,8	1391	97	69,0	1,41	30,2
	107	250	400	72	1625	19	15,4	1179	96	77,0	1,25	33,6
NB 250x500xHt	30	250	500	16	3174	30	4,2	3158	148	21,0	7,03	12,2
	41	250	500	24	3672	27	5,8	3277	136	29,0	4,69	16,5
	52	250	500	32	3905	26	7,4	3265	130	37,0	3,52	20,7
	63	250	500	40	4032	25	9,0	3202	127	45,0	2,81	25,0
	74	250	500	48	3393	25	10,6	2766	124	53,0	2,34	29,2
	85	250	500	56	2888	25	12,2	2269	123	61,0	2,01	33,5
	96	250	500	64	2509	24	13,8	1896	121	69,0	1,76	37,7
	107	250	500	72	2214	24	15,4	1606	120	77,0	1,56	42,0
NB 300x400xHt	41	300	400	24	3185	26	5,8	3112	131	29,0	4,50	15,8
	52	300	400	32	3543	25	7,4	3185	125	37,0	3,38	19,9
	63	300	400	40	3748	24	9,0	3182	122	45,0	2,70	24,0
	74	300	400	48	3875	24	10,6	3141	119	53,0	2,25	28,1
	85	300	400	56	3497	24	12,2	2883	118	61,0	1,93	32,1
	96	300	400	64	3042	23	13,8	2434	116	69,0	1,69	36,2
	107	300	400	72	2688	23	15,4	2085	116	77,0	1,50	40,3
	118	300	400	80	2405	23	17,0	1806	115	85,0	1,35	44,3
NB 300x500xHt	41	300	500	24	4384	33	5,8	4284	163	29,0	5,63	19,8
	52	300	500	32	4877	31	7,4	4384	156	37,0	4,22	24,9
	63	300	500	40	5158	30	9,0	4380	152	45,0	3,38	30,0
	74	300	500	48	5334	30	10,6	4324	149	53,0	2,81	35,1
	85	300	500	56	4814	29	12,2	3968	147	61,0	2,41	40,2
	96	300	500	64	4188	29	13,8	3350	146	69,0	2,11	45,2
	107	300	500	72	3700	29	15,4	2870	144	77,0	1,88	50,3
	118	300	500	80	3311	29	17,0	2486	143	85,0	1,69	55,4
NB 300x600xHt	41	300	600	24	5634	39	5,8	5505	196	29,0	6,75	23,7
	52	300	600	32	6268	37	7,4	5634	187	37,0	5,06	29,9
	63	300	600	40	6629	36	9,0	5629	182	45,0	4,05	36,0
	74	300	600	48	6855	36	10,6	5557	179	53,0	3,38	42,1
	85	300	600	56	6187	35	12,2	5099	176	61,0	2,89	48,2
	96	300	600	64	5382	35	13,8	4306	175	69,0	2,53	54,3
	107	300	600	72	4758	35	15,4	3689	173	77,0	2,25	60,4
	118	300	600	80	4255	34	17,0	3195	172	85,0	2,03	66,5





- $pb_k = s_m \cdot B \cdot p_b = 0.1 \text{ m} \cdot 2.1 \text{ m} \cdot 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cong 2.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}};$
- $pm_k = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot B = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.1 \text{ m} \cong 5.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}};$
- $P1_k = 100 \text{ kN};$
- $P2_k = 100 \text{ kN};$
- $P3_k = 100 \text{ kN} + 100 \text{ kN} = 200 \text{ kN}.$

I carichi sono stati amplificati come da normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 5.1.3.14]:

- $pp_d = pp_k \cdot 1.3 \cong 16.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $ps_d = ps_k \cdot 1.3 \cong 13.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $pb_d = pb_k \cdot 1.3 \cong 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $pm_d = pm_k \cdot 1.35 \cong 7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- $P1_d = P1_k \cdot 1.35 \cong 135 \text{ kN}$
- $P2_d = P2_k \cdot 1.35 \cong 135 \text{ kN}$
- $P3_d = P3_k \cdot 1.35 \cong 270 \text{ kN}$

Imponendo l'equilibrio alla rotazione rispetto agli estremi della trave sono stati individuati i valori delle reazioni vincolari verticali:

$$V_a = V_b = 634 \text{ kN}$$

La forza verticale di progetto  $V_{Ed}$  è stata ottenuta considerando il valore delle reazioni vincolari.

$$V_{Ed} = \max\{V_a; V_b\} \cong 634 \text{ kN}$$

### 9.7.3.2 Calcolo della forza orizzontale di progetto

Sulla trave agiscono i seguenti carichi orizzontali uniformemente distribuiti:

- $pp_{H,d} = pp_{H,k} = pp_k \cdot k_h = 12.5 \frac{kN}{m} \cdot 1.099 \cong 13.7 kN/m$ ;
- $ps_{H,d} = ps_{H,k} = ps_k \cdot k_h = 10.5 \frac{kN}{m} \cdot 1.099 \cong 11.5 kN/m$ ;
- $pb_{H,d} = pb_{H,k} = pb_k \cdot k_h = 2.7 \frac{kN}{m} \cdot 1.099 \cong 2.9 kN/m$ .

Imponendo l'equilibrio alla traslazione orizzontale si ottiene il valore delle due reazioni vincolari orizzontali  $H$  in corrispondenza degli estremi, corrispondente al valore della forza orizzontale di progetto  $H_{Ed}$ :

$$H_{Ed} = H = 253 kN$$

### 9.7.3.3 Tipologia di appoggio selezionata

Vista l'entità delle sollecitazioni, si prevede che venga impiegato un appoggio tipo ALGABLOC NB 400X700X69, o equivalente. Esso è costituito da strati alterni di gomma ed acciaio ed è privo di qualsiasi sistema d'ancoraggio di tipo meccanico alla struttura.

Come si evince dalla tabella seguente, i massimi valori delle forze verticali ed orizzontali  $V$  ed  $H$  compatibili con il sistema di vincolo selezionato sono maggiori rispetto alle azioni precedentemente calcolate.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

DATA	Dimensioni			hg	Combo 1			Combo 2			Kh	W
	Ht	A	B		V	H	s*	V	H	s*		
	mm	mm	mm		kN	kN	mm	kN	kN	mm		
NB 400x500xHt	54	400	500	33	5219	41	7,6	5057	207	38,0	5,45	35,0
	69	400	500	44	5767	40	9,8	5158	200	49,0	4,09	44,1
	84	400	500	55	6078	39	12,0	5142	196	60,0	3,27	53,3
	99	400	500	66	6272	39	14,2	5068	194	71,0	2,73	62,4
	114	400	500	77	5489	38	16,4	4525	192	82,0	2,34	71,6
	129	400	500	88	4775	38	18,6	3818	190	93,0	2,05	80,7
	144	400	500	99	4219	38	20,8	3268	189	104,0	1,82	89,8
	159	400	500	110	3774	38	23,0	2827	188	115,0	1,64	99,0
	174	400	500	121	3374	38	25,2	2427	188	126,0	1,46	108,2
NB 400x700xHt	54	400	700	33	8434	58	7,6	8172	290	38,0	7,64	49,0
	69	400	700	44	9319	56	9,8	8335	281	49,0	5,73	61,8
	84	400	700	55	9822	55	12,0	8309	275	60,0	4,58	74,6
	99	400	700	66	10134	54	14,2	8189	271	71,0	3,82	87,4
	114	400	700	77	8871	54	16,4	7313	268	82,0	3,27	100,2
	129	400	700	88	7716	53	18,6	6170	266	93,0	2,86	113,0
	144	400	700	99	6818	53	20,8	5281	265	104,0	2,55	125,8
	159	400	700	110	6099	53	23,0	4570	263	115,0	2,29	138,6
	174	400	700	121	5454	53	25,2	3969	263	126,0	2,01	151,4
NB 400x800xHt	54	400	800	33	10119	66	7,6	9805	332	38,0	8,73	56,0
	69	400	800	44	11179	64	9,8	10001	321	49,0	6,55	70,6
	84	400	800	55	11785	63	12,0	9970	314	60,0	5,24	85,2
	99	400	800	66	12159	62	14,2	9825	310	71,0	4,36	99,9
	114	400	800	77	10643	61	16,4	8774	307	82,0	3,74	114,5
	129	400	800	88	9258	61	18,6	7403	304	93,0	3,27	129,1
	144	400	800	99	8180	61	20,8	6336	303	104,0	2,91	143,7
	159	400	800	110	7318	60	23,0	5483	301	115,0	2,62	158,4
	174	400	800	121	6583	60	25,2	4833	301	126,0	2,34	173,0
NB 500x600xHt	54	500	600	33	7254	62	7,6	8460	311	38,0	8,18	52,5
	69	500	600	44	8931	60	9,8	9039	301	49,0	6,14	66,2
	84	500	600	55	9911	59	12,0	9273	295	60,0	4,91	79,9
	99	500	600	66	10545	58	14,2	9334	290	71,0	4,09	93,6
	114	500	600	77	10976	58	16,4	9297	288	82,0	3,51	107,3
	129	500	600	88	11265	57	18,6	9198	285	93,0	3,07	121,1
	144	500	600	99	10001	57	20,8	8227	284	104,0	2,73	134,8
	159	500	600	110	8958	56	23,0	7193	282	115,0	2,45	148,5
	174	500	600	121	8105	56	25,2	6347	281	126,0	2,23	162,2
NB 500x700xHt	54	500	700	44	11180	70	9,8	11316	351	49,0	7,16	77,2
	69	500	700	55	12410	69	12,0	11609	344	60,0	5,73	93,2
	84	500	700	66	13201	68	14,2	11685	339	71,0	4,77	109,2
	99	500	700	77	13743	67	16,4	11638	335	82,0	4,09	125,2
	114	500	700	88	14130	67	18,6	11514	333	93,0	3,58	141,2
	129	500	700	99	12520	66	20,8	10299	331	104,0	3,18	157,2
	144	500	700	110	11215	66	23,0	9005	329	115,0	2,86	173,2
	159	500	700	121	10147	66	25,2	7946	328	126,0	2,60	189,2
	174	500	700	132	9147	66	27,4	7046	328	137,0	2,34	205,2

## 10 Edificio servizi

### 10.1 Descrizione delle opere

L'edificio servizi è un manufatto in c.a. a pianta rettangolare di dimensioni 11.40x4.00 m. Esso comprende il locale tecnico e il locale uffici, e si colloca sulla passerella di servizio del manufatto regolatore, in corrispondenza della mezzeria del lato minore. Le pareti perimetrali hanno spessore 25 cm (compresa quella che separa i due locali), mentre quelle interne hanno spessore 20 cm. Esse si sviluppano a partire dalla soletta dell'impalcato, di spessore 20 cm. La soletta ha spessore 20 cm.

All'interno dell'edificio servizi saranno alloggiati i principali impianti elettrici connessi al funzionamento degli organi di regolazione, compresi quelli del manufatto di derivazione nell'invaso laterale, che saranno sinteticamente composti da:

- Accessori di cabina;
- Quadro elettrico generale di BT;
- Quadro elettrico di automazione e centro di controllo con PC;
- Centraline oleodinamiche per funzionamento paratoie
- Gruppo elettrogeno.

### 10.2 Disegni di riferimento

Gli elaborati grafici relativi alle opere in analisi sono elencati nella tabella seguente.

Codice tavola	Titolo tavola	Scala
Tav. A.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Planimetria di progetto	1:500
Tav. A.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Stato di fatto e demolizioni (pianta e sezioni)	1:200

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Tav. A.3	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 56.20 m s.l.m. (Copertura)	1:200
Tav. A.4.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da A-A a C-C	1:200
Tav. A.4.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Sezioni da D-A a H-H	1:200
Tav. A.5.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 52.60 m s.l.m. (Impalcato ponte di servizio)	1:200
Tav. A.5.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 50.30 m s.l.m. (scarico di superficie)	1:200
Tav. A.5.3.1	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 46.75 m s.l.m. (Muri manufatto di regolazione)	1:200
Tav. A.5.3.2	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Muri del manufatto di sbarramento e regolazione	indicata
Tav. A.5.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 38.00 m s.l.m. (Piano fondazione)	1:200
Tav. A.5.5	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Pianta a quota 35.25 m s.l.m. (Piano di bonifica e diaframmi)	1:200
Tav. A.9	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Edificio servizi: pianta, prospetti e sezioni	1:50
Tav. A.11.4	Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Tipologici armature cemento armato: soletta passerella ed edificio servizi	indicata



## 10.3 Caratteristiche dei materiali impiegati

### 10.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe C25/30

Il valore di resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  del calcestruzzo impiegato per la realizzazione delle pile dell'impalcato in progetto è pari a 30 MPa.

Si definiscono dunque il valore caratteristico e medio della resistenza cilindrica, rispettivamente  $f_{ck}$  e  $f_{cm}$  [NTC 2018 – Par 11.2.10.1].

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \cong 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Come valori della resistenza media e caratteristica a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo, rispettivamente  $f_{ctm}$  e  $f_{ctk}$ , si sono assunti i seguenti valori [NTC 2018 – Par 11.2.10.2]:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \cong 2.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.70 \cdot f_{ctm} \cong 1.8 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto a compressione è calcolata in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.1].

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong 14 \text{ MPa}$$

dove:

- $\alpha_{cc} = 0.85$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
- $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

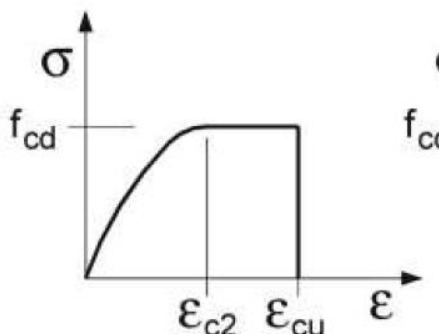
La resistenza di progetto a trazione è definita in accordo con la normativa come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2].

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cong 1.19 \text{ MPa}$$

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato valutato con la seguente formula [NTC 2018 – Par. 11.2.10.3].

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cong 31500 \text{ MPa}$$

Il diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.1]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di tipo parabola-rettangolo.



I valori assunti per  $\varepsilon_{c2}$  ed  $\varepsilon_{cu}$  sono quelli prescritti per classi di resistenza pari o inferiore a C50/60, ovvero rispettivamente 0.20‰ e 0.35‰.

### 10.3.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento  $f_{y,nom}$  e della tensione a carico massimo  $f_{t,nom}$  da utilizzare nei calcoli [NTC 2018 – Par. 11.3.2.1]:

$$f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

Tra i requisiti richiesti da normativa [NTC 2018 – Tab. 11.3.Ib] sono specificati i due vincoli seguenti in merito ai valori caratteristici delle tensioni.

$$f_{y,k} \geq f_{y,nom}$$

$$f_{t,k} \geq f_{t,nom}$$

Pertanto i valori considerati per le tensioni caratteristiche sono i seguenti:

$$f_{y,k} = f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$$

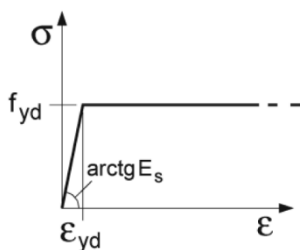
$$f_{t,k} = f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$$

La resistenza di progetto dell'acciaio  $f_{y,d}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore si ottiene come segue [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.1.2]:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cong 391.3 \text{ MPa}$$

essendo  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Il diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio è stato assunto in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 4.1.2.1.2.2]. In particolare si è considerato un modello  $\sigma - \varepsilon$  di elastico perfettamente plastico.





## 10.4 Valutazione dell'azione sismica

L'azione sismica è assunta pari a quella dell'impalcato, così come calcolata al paragrafo 7.5; i parametri sono quindi:

Impalcato T1=0.221 s		Se (T1) [g]			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	Spettro elastico [NTC2018]	0.289	0.361	0.783	0.893
	Risposta sismica locale [RSL]	-	0.471	0.985	1.041

## 10.5 Definizione dei carichi e delle loro combinazioni

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali (automaticamente calcolato dal software SAP2000), sono stati considerati i seguenti carichi:

### ➤ NEVE SULLA SOLETTA

Il valore del sovraccarico è calcolato in accordo alla normativa [NTC 2018 – Par. 3.4.].

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \cong 1.32 \text{ kN/m}^2$$

essendo:

- $q_{sk} = 1.5 \text{ kN/m}^2$  il valore di riferimento del carico della neve al suolo in Zona I e per altitudini inferiori ai 200 m;
- $\mu_i = 0,8$  è il coefficiente di forma per copertura piana;
- $C_E = 1,1$  è il coefficiente di esposizione per area riparata;
- $C_t$  è il coefficiente termico, assunto pari ad 1 in assenza di uno studio specifico e documentato.

### ➤ OPERATORI SULLA SOLETTA

Il valore del sovraccarico è assunto in accordo alla normativa [NTC 2018 – Tab. 3.1.II – Cat. H].

$$q = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

➤ **FORZE INERZIALI DOVUTE AL SISMA**

Le forze inerziali dovute al sisma (SLD e SLC) sono state applicate con le procedure e le accelerazioni descritte al paragrafo 10.4

Sono state considerate le combinazioni di carico e le situazioni progettuali maggiormente conservative. I coefficienti di combinazione, riportati nella tabella seguente, sono stati definiti in accordo con la normativa [NTC 2018 – Par. 2.5, Par. 6.2.4.1.1, D.M. 26/06/2014 – Cap. C.8.].

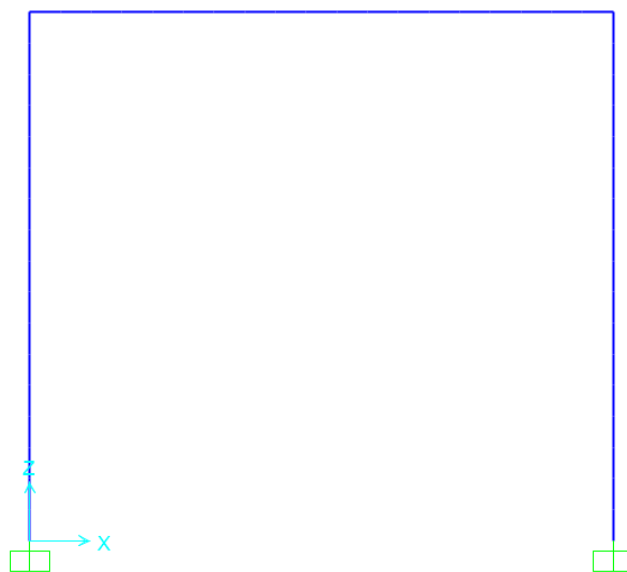
COMBINAZIONI	SITUAZIONE PROGETTUALE	PESO PROPRIO	OPERATORI	NEVE	SISMA
SLU FONDAMENTALE	Operatori	1.3	1.5	0.75	-
SLE RARA	Operatori	1	1	0.5	-
SLU FONDAMENTALE	Neve	1.3	0	1.5	-
SLE RARA	Neve	1	0	1	-
SISMICA SLC		1	0	0	1
SISMICA SLD		1	0	0	1

Le sollecitazioni delle combinazioni SLE FREQUENTE e SLE QUASI PERMANENTE sono state assunte cautelativamente pari a quelle della combinazione SLE RARA.

Trattandosi di un modello monodimensionale e simmetrico, le forze inerziali sismiche sono state applicate in una sola direzione (X+).

## 10.6 Modellazione e risultati dell'analisi

Come visibile dall'immagine seguente, l'edificio servizi è stato modellato per mezzo di elementi frame. Si è infatti ritenuto opportuno modellare unicamente una sezione trasversale del manufatto, che essendo caratterizzata da rigidezze maggiori risulta quella più critica dal punto di vista strutturale.



Pareti e solette sono state modellate in corrispondenza dei loro assi, e l'innesto delle pareti sulla soletta dell'impalcato è stato modellato attraverso incastri.

Nel seguito si riportano:

- i diagrammi e i valori delle massime sollecitazioni flessionali e a taglio ottenuti agli SLU (risulta più critica la combinazione SISMICA SLC);
- i diagrammi e i valori delle massime sollecitazioni flessionali ottenuti agli SLE (risulta più critica a combinazione SISMICA SLD).

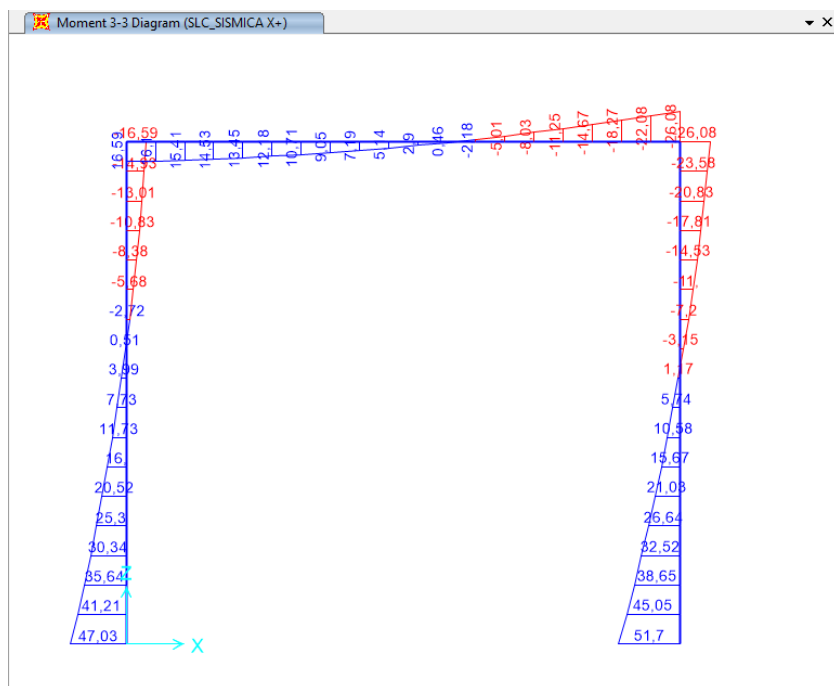
**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

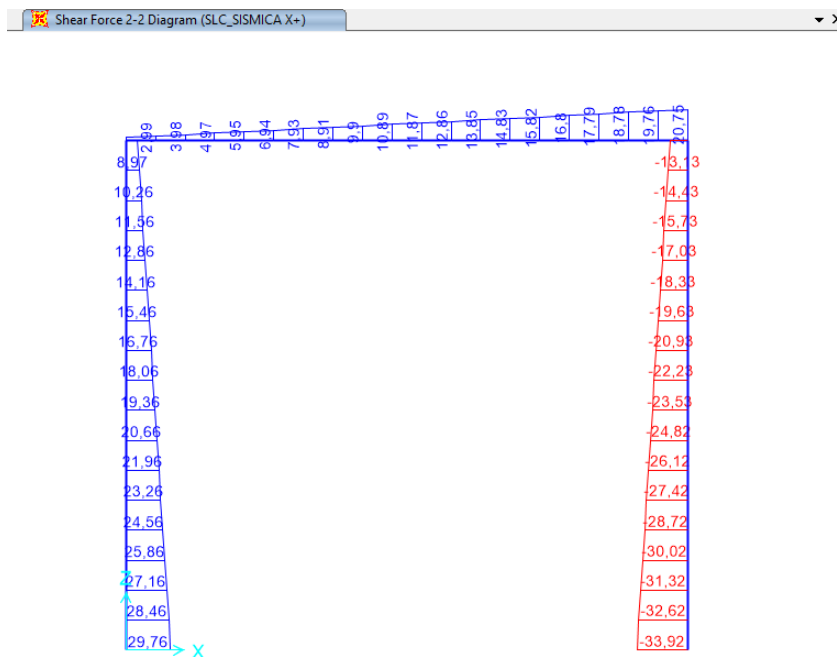
### 10.6.1 Risultati SLU

I valori riportati nelle figure seguenti sono espressi in kN·m (momenti) e in kN (forze).

#### MOMENTO M3



#### TAGLIO V2

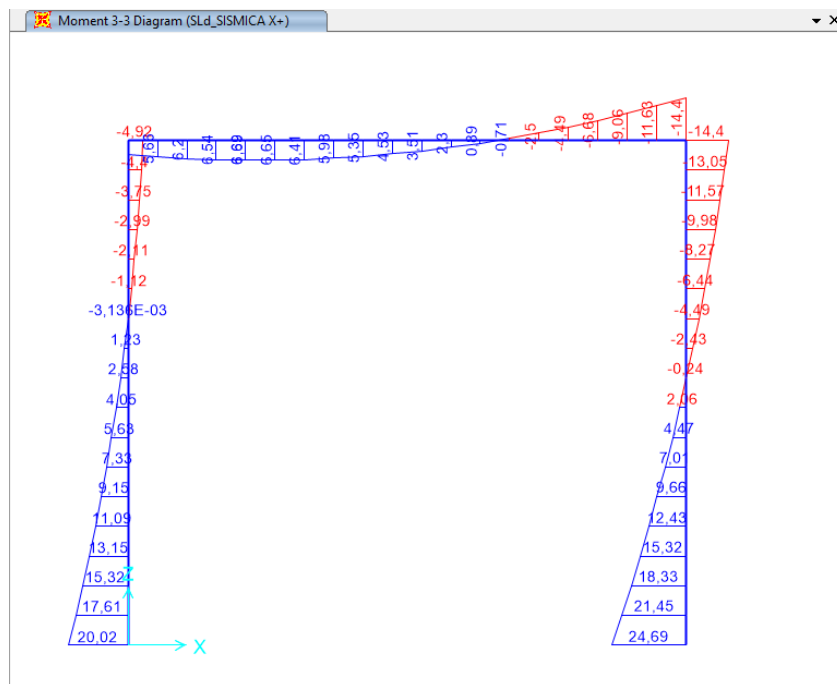


**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## 10.6.2 Risultati SLE

### MOMENTO M3



## 10.7 Verifiche effettuate

Sono state effettuate le seguenti verifiche in accordo con la normativa:

- RESISTENZA FLESSIONALE (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.4];
- RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (SLU) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.3.5];
- FESSURAZIONE (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.2];
- TENSIONI DI ESERCIZIO (SLE) [NTC 2018 – Par. 4.1.2.2.5].

I calcoli sono riportati nei paragrafi che seguono.

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

### 10.7.1 Pareti

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>51.70</b>	<b>0.00</b>	<b>33.92</b>
<b>RARA</b>	<b>24.69</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>24.69</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>24.69</b>		

#### VERIFICA PARETE - CHIAMATE E ARMATURE VERTICALI

##### Caratteristiche dei materiali

- Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	25.00	MPa
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	20.75	MPa
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	11.76	MPa
α <sub>cc</sub> =	0.85	
γ <sub>C</sub> =	1.5	
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	28.75	MPa
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.27	MPa
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.59	MPa
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.06	MPa
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.38	MPa
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	30,200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa
γ <sub>S</sub> =	1.15	
E <sub>S</sub> =	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

##### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

##### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	25	cm
d' =	3	cm
d =	22	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	33.92	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	25	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	22	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 109.15 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.95 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0046 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 2,500 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 95.77 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.435$$

$$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) = 109.15 \text{ kN} > V_{Ed} = 33.92 \text{ kN}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente



**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	51.70	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	25	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	22	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 6.4 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} && \text{armatura compressa in campo elastico} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} && \text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 & \quad x^2 & + & \quad 345,521 & \quad x & - & 22,167,078 & = & 0 \\ x & = & 3.34 & \text{cm} & & & x_1 & = & 6.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 74.98 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.86	kNm	>	$M_{Ed} =$	51.70	kNm
------------	-------	-----	---	------------	-------	-----



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	24.69	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	25	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	22	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	6.18	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	47,133	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.24	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	124.34	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	24.69	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	25	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	22	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.18	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	47,133	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 124.34 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00029 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00036$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 6.27 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 12.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 627.46 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 27.18 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.097	mm	$\leq$	$w_{d,max} =$	0.300	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

##### Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.24	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	9.34	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	124.34	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	24.69	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	25	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	22	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.18	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	47,133	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 124.34 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_1 \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_s \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00029 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00036$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 6.27 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 12.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 627.46 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_s &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 27.18 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.097 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

## 10.7.2 Soletta

	<b>M<sub>ED</sub></b> [ kNm/m ]	<b>N<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]	<b>T<sub>ED</sub></b> [ kN/m ]
<b>SLU</b>	<b>26.08</b>	<b>0.00</b>	<b>20.75</b>
<b>RARA</b>	<b>14.40</b>		
<b>FREQ.</b>	<b>14.40</b>		
<b>Q. PERM.</b>	<b>14.40</b>		

### VERIFICA SOLETTA - ARMATURA TRASVERSALE

#### Caratteristiche dei materiali

- Cls R<sub>ck</sub> ≥ 25 MPa

R <sub>ck</sub> =	25.00	MPa
f <sub>ck</sub> = 0,83 * R <sub>ck</sub> =	20.75	MPa
f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>C</sub> =	11.76	MPa
α <sub>cc</sub> =	0.85	
γ <sub>C</sub> =	1.5	
f <sub>cm</sub> = f <sub>ck</sub> + 8 =	28.75	MPa
f <sub>ctm</sub> = 0,30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> =	2.27	MPa
f <sub>ctk</sub> = 0,7 * f <sub>ctm</sub> =	1.59	MPa
f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	1.06	MPa
f <sub>bd</sub> = 2.25 * f <sub>ctk</sub> / γ <sub>C</sub> =	2.38	MPa
E <sub>C</sub> = 22000 * (f <sub>cm</sub> / 10) <sup>0.3</sup> =	30,200	MPa

coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata  
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

- Acciaio B450C

f <sub>yk</sub> =	450.00	MPa
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> =	391.30	MPa
γ <sub>S</sub> =	1.15	
E <sub>S</sub> =	210,000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

#### Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per f<sub>ck</sub> ≤ 50 N/mm<sup>2</sup>
- un asse neutro reale dove x < h

β <sub>1</sub> =	0.80952
β <sub>2</sub> =	0.41597
ε <sub>c,2</sub> =	0.002
ε <sub>cu</sub> =	0.0035
ε <sub>uk</sub> =	0.075
ε <sub>yd</sub> = f <sub>yd</sub> / E <sub>S</sub> =	0.00186
ε <sub>ud</sub> = 0,9 * ε <sub>uk</sub> =	0.0675

#### Caratteristiche geometriche della sezione di cls

b =	100	cm
h =	20	cm
d' =	3	cm
d =	17	cm

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

##### Verifica a taglio

**Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio**

$V_{Ed, base} =$	20.75	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>	

con:

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm

$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d =$	94.11	kN
--	-------	----

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 2.00 \geq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0059 \leq 0.02$$

$A_{SI}$  = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 2,000 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d =$	76.66	kN
--	-------	----

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.451$$

$V_{Rd} = \max (V_{Rd1} ; V_{Rd2}) =$	94.11	kN	>	$V_{Ed} =$	20.75	kN
---------------------------------------	-------	----	---	------------	-------	----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si è condotta la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	14.40	kNm				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S, compr} / A_{S, tesa} =$	1.00				
$A_{S, tot} = A_{S, tesa} + A_{S, compr} =$	20.11	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S, tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S, tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	5.32	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S, tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S, compr} * (x - d')^2 =$	26,403	cm <sup>4</sup>			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.90	MPa	<	$0.60 * f_{ck} =$	12.45	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	95.59	MPa	<	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.40	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 20.11 \text{ cm}^2$$

$$x = (n \cdot A_{S,tot} / b) \cdot [-1 + (1 + (2 \cdot b / (n \cdot A_{S,tot})) \cdot (d + \gamma \cdot d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 5.32 \text{ cm}$$

$$J_{fess} = b \cdot x^3 / 3 + n \cdot A_{S,tesa} \cdot (d - x)^2 + n \cdot A_{S,compr} \cdot (x - d')^2 = 26,403 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 95.59 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00022 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00027$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff 1} = 2.5 \cdot (h - d) = 7.50 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 2} = (h - x) / 3 = 4.89 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff 3} = h / 2 = 10.00 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff i}) \cdot b = 489.48 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.021$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.95$$

$$\Delta_{s,max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 23.44 \text{ cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s,max} = 0.064 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

##### Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} = 2.90 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 9.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} = 95.59 \text{ MPa} < 0.8 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

##### Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.40	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm <sup>2</sup>			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.32	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	26,403	cm <sup>4</sup>			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 95.59 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_f \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00022 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00027$$

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 7.50 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 4.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 10.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff i}) * b = 489.48 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.021 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.95 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 23.44 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.064 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.400 \text{ mm}$$



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



#### Verifica a flessione

	$M_{Ed} =$	26.08	kNm				
	$N_{Ed} =$	0.00	kN				
dove:	$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>
	$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm <sup>2</sup>

con:

$b =$	100	cm	$h =$	20	cm
$d' =$	3	cm	$d =$	17	cm

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 6.4 \text{ cm}$$

- Ipotesi  $x < x_1$ :

$$\begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} = 0.0035 \\ \sigma'_s &< f_{yd} \\ \sigma_s &= f_{yd} = 391.30 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\text{armatura compressa in campo elastico} \\ &\text{armatura tesa alla tensione } f_{yd} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 611 \text{ kN}$$

- Calcolo del momento resistente per  $N_{Rd} < N_{Rd1}$  (ovvero  $x < x_1$ )

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$\begin{aligned} 9,519 x^2 + 345,521 x - 22,167,078 &= 0 \\ x &= 3.34 \text{ cm} < x_1 = 6.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 74.98 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.19	kNm	>	$M_{Ed} =$	26.08	kNm
------------	-------	-----	---	------------	-------	-----

## 11 Dimensionamento paratoie

Nel presente capitolo vengono eseguite le verifiche sismiche nei confronti delle componenti strutturali della paratoia e degli organi di manovra

Il riferimento normativo di base è la normativa tedesca DIN 19704 – *Hydraulic steel structures – Part. 1: Criteria for design and calculation*, poiché permette di coprire tutte le problematiche della progettazione delle paratoie, cioè la resistenza di parti meccaniche come ruote, perni, boccole, la resistenza della rotaia e le forze di manovra. Le verifiche effettuate sono le seguenti:

Stato Limite Ultimo:

- Resistenza a flessione e a taglio delle travi;
- Resistenza tensionale dei pannelli;
- Resistenza di ruote, perni e boccole;
- Resistenza della rotaia e del calcestruzzo di supporto;
- Resistenza della trave di supporto

Stato Limite di Esercizio

- Deformabilità del diaframma;

Le azioni considerate per le verifiche sono:

- Spinta idrostatica
- Sovrappinta sismica e forze inerziali

In accordo con la normativa (NTC 2018) per le verifiche allo stato limite ultimo sono state considerate le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale

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

- Combinazione sismica

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Per le paratoie del manufatto di regolazione sono state analizzate le medesime situazioni progettuali presentate al paragrafo 7.4:

- Invaso sperimentale, con livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

- Piena duecentennale, con livello di 49.83 m s.l.m. a monte dello sbarramento e 44.53 a valle; questa configurazione comporta la maggiore differenza di carico tra monte e valle, per cui non è stata analizzata la configurazione “750 m<sup>3</sup>/s e bocche chiuse”
- Sisma (SLC e SLD), in configurazione di invaso sperimentale, ovvero con un livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

Per tutte le verifiche la combinazione sismica (invaso sperimentale) risulta dimensionante, per cui nei paragrafi successivi si riportano unicamente le verifiche relative a tale configurazione.

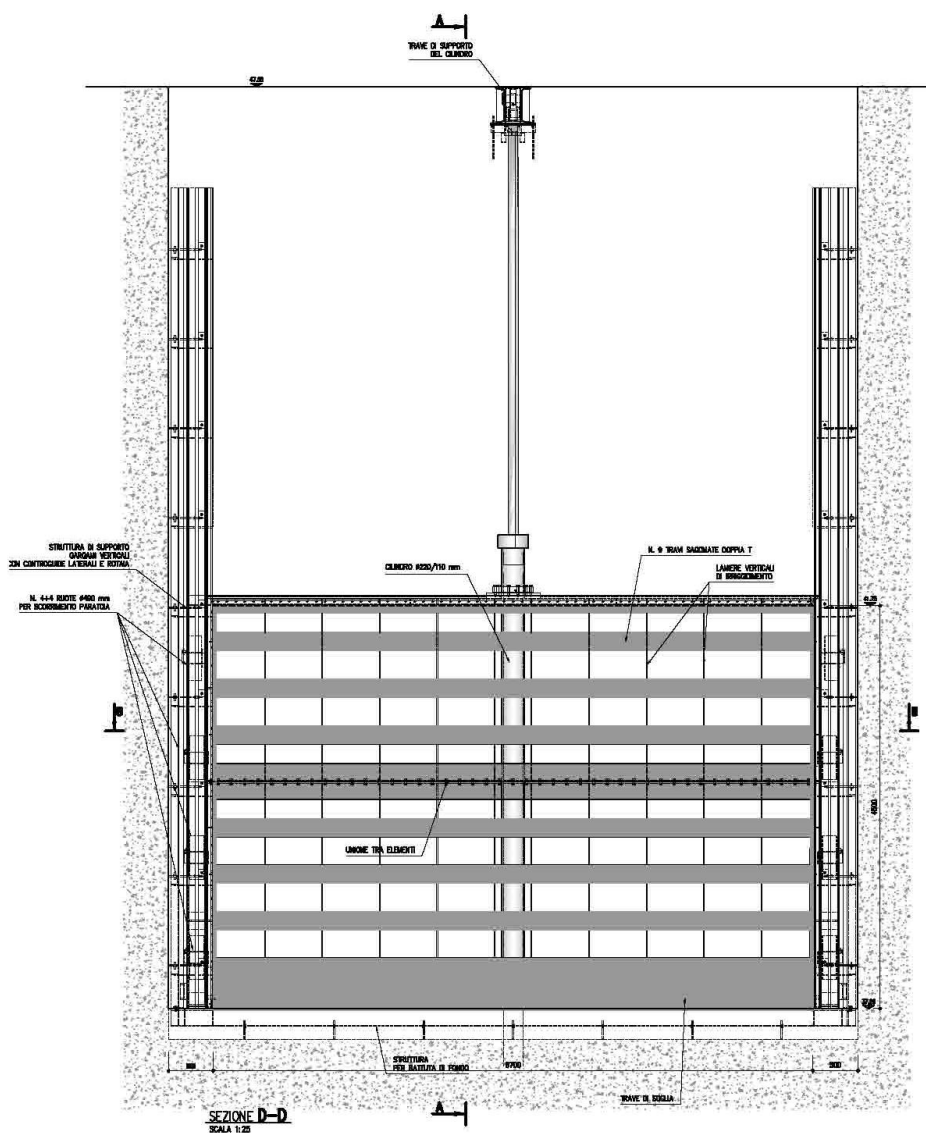
Per le paratoie del manufatto di derivazione sono state analizzate le medesime situazioni progettuali presentate al paragrafo 8.4:

- configurazione 750 m<sup>3</sup>/s e bocche chiuse, con un livello a monte dello sbarramento pari a 48.75 m s.l.m., e assenza di acqua nella vasca laterale.
- Sisma (SLC e SLD), in configurazione di invaso sperimentale, ovvero con un livello di acqua a monte dello sbarramento pari alla soglia di sfioro del manufatto regolatore, ovvero 46.25 m s.l.m., e assenza di acqua a valle.

Per tutte le verifiche la configurazione “750 m<sup>3</sup>/s e bocche chiuse” risulta dimensionante, per cui nei paragrafi successivi si riportano unicamente le verifiche relative a tale configurazione.

### 11.1.1 Caratteristiche tecniche

La paratoia, movimentata da cilindri oleodinamici in acciaio, scorre all'interno di gargami in lamiera per mezzo di 8 ruote di diametro 490 mm.



Per ulteriori informazioni si rimanda alla tabella seguente nonché alla tavola A.6

“Intervento A: Adeguamento del manufatto di sbarramento e regolazione: Organi di manovra: paratoia”.

Larghezza libera della luce:	6.70 m
Altezza libera della luce:	4.50 m
Interasse tenute verticali:	6800 mm
Interasse tenute orizzontali:	4590 mm
Interasse ruote:	7070 mm
Quota di soglia:	37.25 m s.l.m.
Massimo livello di monte per le verifiche statiche:	49.83 m s.l.m.
Massimo livello operativo di monte:	46.25 m s.l.m.
Livello di valle per le verifiche statiche:	44.53 m s.l.m.
Livello operativo di valle:	37.25 m s.l.m.
Tenuta su quattro lati da monte verso valle	
Apertura a carico equilibrato	
Chiusura normale a carico equilibrato	

### 11.1.2 Materiali

Le resistenze dei materiali componenti la paratoia sono state calcolate in accordo con la normativa (NTC 2018, paragrafo 4.2.4.11), applicando alle resistenze caratteristiche opportuni fattori  $\gamma$ ; in assenza di specifiche indicazioni o in caso di valori più conservativi si sono utilizzati i coefficienti riportati nella DIN 19704.

#### Struttura principale

Acciaio strutturale: EN 10025 S275 JR

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 261.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,yd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 151.2 \text{ N/mm}^2$$

#### Gruppi ruota

Ruote: 2C40 UNI EN 10083

$$f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Rotaie: EN 10025 S355 JR

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

Perni: AISI 420

$$f_{yk} = 590 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1.5 \quad (\text{DIN 19704})$$

$$f_{yd,perno} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 393.3 \text{ N/mm}^2$$

Trave di supporto: EN 10025 S275 JR

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1.5 \quad (\text{DIN 19704})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 183.3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,yd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 105.8 \text{ N/mm}^2$$

Calcestruzzo:

C25/30

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 * R_{ck} = 24.9 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.1 \text{ MPa}$$

### Trave di supporto del cilindro

Acciaio strutturale: EN 10025 S275 JR

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

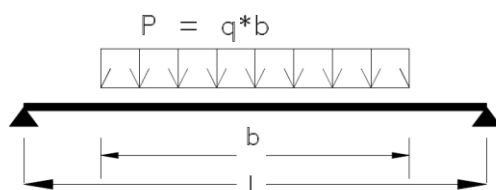
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 261.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,yd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 151.2 \text{ N/mm}^2$$



### 11.1.3 Verifica della struttura principale

La paratoia è strutturata in modo tale che le spinte dovute al battente idraulico agenti sul mantello siano trasmesse da questo e dalle nervature verticali alle travi principali orizzontali. L'insieme di queste sostiene quindi l'intero carico idraulico scaricandolo sulle fiancate laterali e quindi sulle ruote; la distribuzione di carico su ciascuna trave è quindi la seguente, dove P e q sono date dalle combinazioni di carico:



Interasse tra gli appoggi:	L= 7070 mm
Interasse tenute verticali:	b= 6800 mm
Interasse tenute orizzontali:	h= 4590 mm
Massimo battente di monte:	H <sub>m</sub> = 9.00 m
Battente di valle:	H <sub>v</sub> = 0 m

Come spiegato in precedenza, si riportano i risultati relativi alla combinazione SISMICA SLC. Per individuare gli elementi soggetti alle sollecitazioni maggiori si sono considerate le pressioni medie agenti su ciascuna trave, moltiplicate per le rispettive aree di incidenza (lunghezza \* somma delle semidistanze dalle travi vicine). Sono poi state verificate la trave di soglia e la trave intermedia soggetta ai carichi maggiori, nonché il pannello più critico.

Nella combinazione SISMICA sono quindi stati considerati i seguenti carichi:

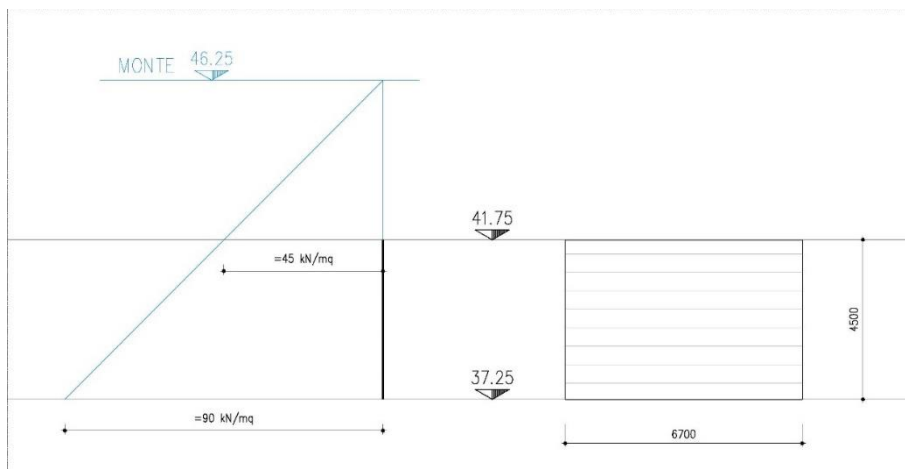
- spinta dell'acqua, visibile nella figura seguente;
- forze sismiche inerziali, calcolate con le accelerazioni presentate al paragrafo 7.5;
- sovraspinta sismica dell'acqua, calcolata come al paragrafo 7.6.

Trattandosi di una combinazione sismica, i coefficienti moltiplicativi sono unitari.



**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Con questa combinazione, la trave intermedia più sollecitata è quella subito sopra alla trave di soglia, ed è soggetta ai seguenti carichi:

Spinta dell'acqua:

$$S_w = \gamma_w * z * b * h_i = 80.18 \frac{kN}{m^2} * 6.8 * 0.52 \approx 283 \text{ kN}$$

Forze inerziali:

$$P_h = V * \rho * a = 0.099 m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 0.556 g \approx 4 \text{ kN}$$

Sovrappinta sismica dell'acqua:

$$S_{w,sovr} = 34.66 \frac{kN}{m^2} * 6.8 * 0.52 \approx 123 \text{ kN}$$

Il carico totale agente è quindi pari a  $P = 410.33 \text{ kN}$

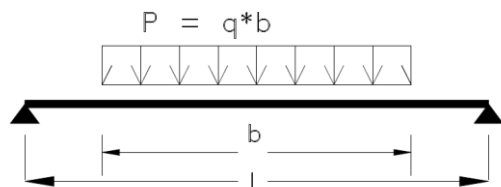
Per la trave di soglia, seguendo la medesima procedura risulta invece:

$$P = 600.93 \text{ kN}$$

Il carico totale agente sulla paratoia in questo caso risulta:

$$Q = 3147 \text{ kN}$$

### 11.1.3.1 Verifica delle travi intermedie



$$L = 7070 \text{ mm}$$

$$b = 6800 \text{ mm}$$

$$P = 410.33 \text{ kN}$$

Massimo momento flettente:

$$M = P * (2 * L - b) / 8 = 3.76 * 10^8 \text{ Nmm}$$

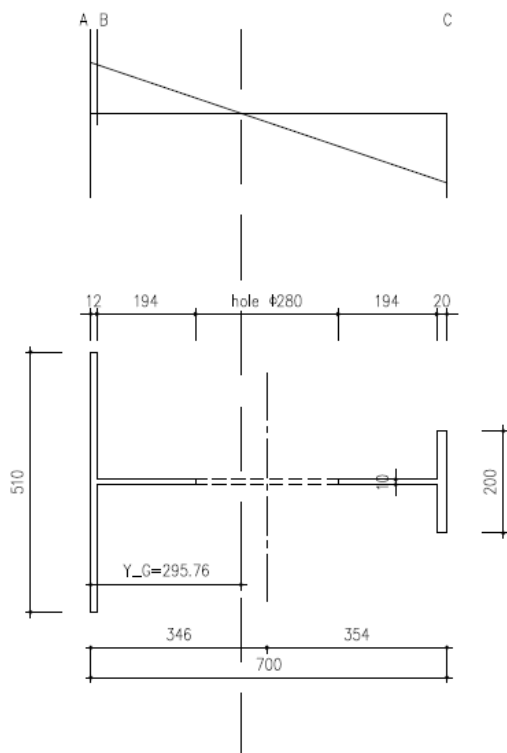
Massima azione di taglio:

$$T = \frac{P}{2} = 205.17 \text{ kN}$$

In base alla norma DIN 19704, la larghezza della parte di mantello collaborante con la sezione resistente della trave può essere calcolata in funzione dei seguenti parametri:

Lunghezza tra gli appoggi:	$L_i = L = 7070 \text{ mm}$
Distanza minima tra due travi successive:	$2B = 520 \text{ mm}$
Rapporto di lunghezza supporti:	$L_i/B = 27.19$
Fattore di riduzione (DIN 19704)	$v_i = 0.98$
Larghezza lamiera collaborante:	$L_{ci} = v_i * 2B = 509.6 \text{ mm}$

La sezione resistente della trave risulta quindi:



Area	$A = 14000 \text{ mm}^2$
Posizione baricentro	$Y_G = 295.76 \text{ mm}$
Momento d'inerzia	$J = 1.375 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
Moduli di resistenza	$W_A = 4.65 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
	$W_C = 3.40 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
Momento statico	$S = 2.06 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

Le massime sollecitazioni di flessione sulla trave sono:

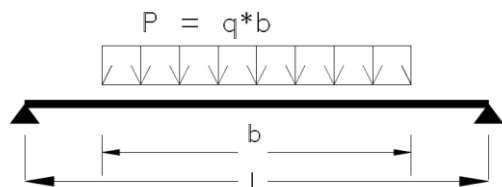
Soll. di pannello:	$\sigma_A = - M / W_A =$	- 80.96 N/mm <sup>2</sup>
Soll. di pannello:	$\sigma_B =$	- 77.68 N/mm <sup>2</sup>
Soll. di ala libera:	$\sigma_C = M / W_C =$	110.66 N/mm <sup>2</sup>

$$\sigma < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Massima sollecitazione di taglio:

$$\tau = \frac{T \cdot S}{I \cdot b} = 30.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{w,yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.1.3.2 Verifica della trave di soglia



$$L = 7070 \text{ mm}$$

$$b = 6800 \text{ mm}$$

$$P_s = 600.93 \text{ kN}$$

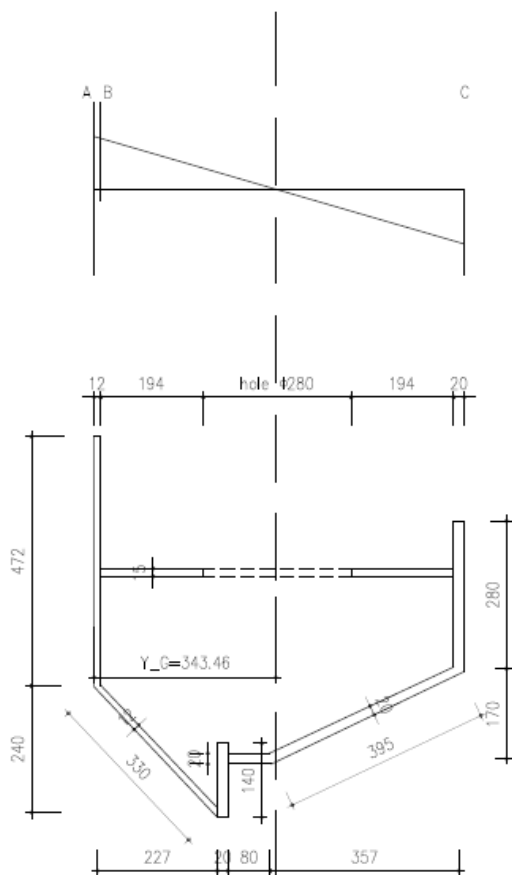
Massimo momento flettente:

$$M_s = P_s * (2 * L - b) / 8 = 5.51 * 10^8 \text{ Nmm}$$

Massima azione di taglio:

$$T_s = \frac{P_s}{2} = 300.46 \text{ kN}$$

In questo caso la sezione resistente della trave risulta:



Area	A = 32582 mm <sup>2</sup>
Posizione baricentrico	Y <sub>G</sub> = 343.46 mm
Momento d'inerzia	J = 2.172 * 10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Moduli di resistenza	W <sub>A</sub> = 6.32 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
	W <sub>C</sub> = 6.09 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Momento statico	S = 6.61 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Le massime sollecitazioni di flessione sulla trave sono:

Soll. di pannello:  $\sigma_A = - M_s / W_A =$  - 87.19 N/mm<sup>2</sup>

Soll. di pannello:  $\sigma_B =$  - 84.15 N/mm<sup>2</sup>

Soll. di ala libera:  $\sigma_C = M_s / W_C =$  90.51 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma < f_{yd} \rightarrow VERIFICATO$

Massima sollecitazione di taglio:

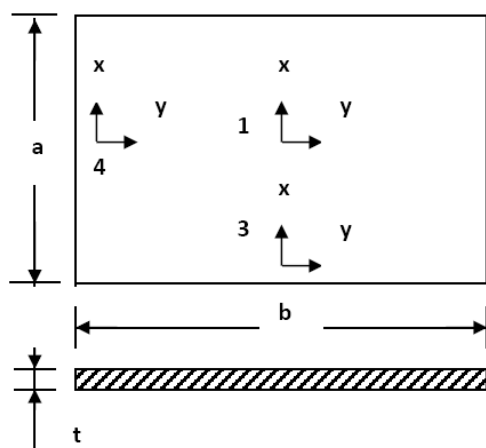
$\tau = \frac{T \cdot S}{sp \cdot J} = 33.86 \frac{N}{mm^2} < f_{w,yd} \rightarrow VERIFICATO$

### 11.1.3.3 Verifica dei pannelli

Dalla combinazione fondamentale risulta che la pressione media agente sul pannello più sollecitato è pari a:

$$p = \frac{P}{b \cdot H} = 410.33 / (6.8 \cdot 0.52) = 0.116 \text{ N/mm}^2$$

Le sollecitazioni di pannello sono calcolate secondo DIN 19704, nei punti significativi seguenti:



a =	520 mm
b =	642 mm
t =	12 mm
p =	0.069 N/mm <sup>2</sup>
b/a =	1.24
k <sub>1X</sub> =	20.83
k <sub>1Y</sub> =	12.70
k <sub>3X</sub> =	43.50
k <sub>3Y</sub> =	13.05
k <sub>4X</sub> =	10.24
k <sub>4Y</sub> =	34.15

Le sollecitazioni sono calcolate secondo la relazione:

$$\sigma = k / 100 \cdot p \cdot a^2 / t^2$$

Le sollecitazioni nel pannello sono:

$$\sigma_{1X} = \mp 45.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1Y} = \mp 27.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3X} = \pm 94.79 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3Y} = \pm 28.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4X} = \pm 22.32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4Y} = \pm 74.41 \text{ N/mm}^2$$

Il massimo valore di sollecitazione composta si ottiene combinando le tensioni della trave intermedia con quelle del pannello; la massima tensione si trova al bordo del pannello avente il lato perpendicolare alla trave, in corrispondenza della superficie di valle.

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_{4Y})^2 + \sigma_{4X}^2} - (\sigma_B + \sigma_{4Y}) \cdot \sigma_{4X} = 142.25 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.1.4 Verifica delle ruote e delle rotaie

Per le verifiche successive si considera che il carico totale agente sulla paratoia calcolato in precedenza venga trasmesso e suddiviso equamente tra le 8 ruote

#### 11.1.4.1 Pressione hertziana

- Carico sulla paratoia	$Q = 3147.48 \text{ kN}$
- Numero delle ruote	$n = 8$
- Diametro delle ruote	$D = 490 \text{ mm}$
- Larghezza della zona di contatto	$a = 150 \text{ mm}$
- Modulo di elasticità	$E = 206000 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di Poisson	$\nu = 0.3$

Carico su ciascuna ruota:

$$P = Q / n = 393.44 \text{ kN}$$

La massima pressione di contatto tra ruota e rotaia viene calcolata secondo la teoria di Hertz; La semilarghezza dell'area di contatto è data da:

$$b = \sqrt{\frac{4 * P * D * (1 - \nu^2)}{\pi * E * a}} = 2.69 \text{ mm}$$

La massima pressione Hertziana vale:

$$p = \sqrt{\frac{P * E}{\pi * D * a * (1 - \nu^2)}} = 621.1 \text{ N/mm}^2$$

Le ruote sono costruite in acciaio 2C40 UNI EN 10083, mentre le rotaie sono in acciaio S 355 UNI EN 10025. Ai fini della determinazione della pressione specifica ammissibile occorre quindi considerare il materiale di cui sono composte le rotaie, che presenta caratteristiche meccaniche inferiori.

La resistenza di progetto, secondo quanto indicato nelle Norme DIN 19704 è:

$$p_{Rd} = 3 * f_{yk} = 1065 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### 11.1.4.2 Verifica dei perni

Lo schema di carico è il medesimo considerato per le travi intermedie, considerando le seguenti caratteristiche:

Interasse tra gli appoggi	$L = 204 \text{ mm}$
Lunghezza boccola	$b = 160 \text{ mm}$
Diametro del perno	$D_p = 115 \text{ mm}$
Modulo di resistenza del perno	$W_p = 1.493 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$

Massimo momento flettente:

$$M = P \cdot (2 \cdot L - b) / 8 = 12.2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Massima sollecitazione di flessione:

$$\sigma = \frac{M}{W_p} = 81.7 \text{ N/mm}^2 < f_{yd,perno} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### 11.1.4.3 Pressione specifica sulla boccola

Con lo stesso significato dei simboli di cui al punto precedente, la massima pressione specifica agente sulla boccola é:

$$p_s = P / (b \cdot D_p) = 21.38 \text{ N/mm}^2$$

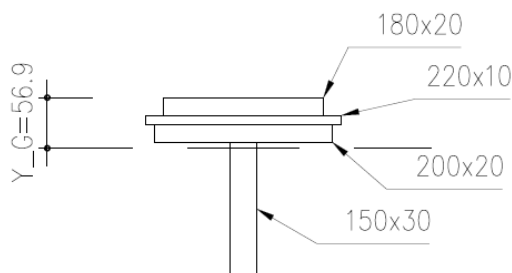
Press. spec. ammissibile secondo catalogo del Costruttore:  $50 \text{ N/mm}^2$ -

>VERIFICATO



#### 11.1.4.4 Verifica delle rotaie

Per la trasmissione della spinta delle ruote al calcestruzzo, si considera una trave di acciaio avente la sezione tipica seguente:



Area	A = 14300 mm <sup>2</sup>
Posizione baricentro	Y <sub>G</sub> = 56.9 mm
Momento d'inerzia	J = 4.088 * 10 <sup>7</sup> mm <sup>4</sup>
Moduli di resistenza	W <sub>A</sub> = 7.186 * 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>
	W <sub>C</sub> = 2.856 * 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>
Momento statico	S = 3.072 * 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>

Il calcolo è svolto secondo DIN 19704 e M. HETENYI "Beam on Elastic Foundation".

Il massimo momento flettente sulla trave è:

$$M = \frac{P}{4} * \sqrt[4]{\frac{4 * E * J}{l_p * k_0}} = 16.8 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Essendo:

- Larghezza di contatto trave-cemento  $l_p = 200 \text{ mm}$
- Modulo della fondazione (calcestruzzo)  $k_0 = 200 \text{ N/mm}^3$

Massima sollecitazione di flessione sulla trave:

$$\sigma = M / W_c = 58.66 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Azione di taglio:

$$T = P / 2 = 196.72 \text{ kN}$$

Massima sollecitazione di taglio:

$$\tau = T \cdot S / (s \cdot J) = 49.28 \text{ N/mm}^2 < f_{w,yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Massima pressione specifica sul calcestruzzo:

$$p_{SP} = \frac{T}{l_p} * \sqrt[4]{\frac{l_p * k_0}{4 * E * J}} = 5.77 * \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{cd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.1.5 Forze di manovra

Come spiegato in precedenza, anche per le verifiche in fase di manovra si sono analizzate le sollecitazioni derivanti dalla combinazione SISMICA SLC, in quanto maggiori.

Interasse tra gli appoggi:	$L = 7070 \text{ mm}$
Interasse tenute verticali:	$b = 6800 \text{ mm}$
Interasse tenute orizzontali:	$h = 4590 \text{ mm}$
Massimo battente di monte in fase di manovra:	$H_m = 9 \text{ m}$
Battente di valle in fase di manovra:	$H_v = 0 \text{ m}$

Per la combinazione sismica sono quindi stati considerati i medesimi carichi descritti al paragrafo 11.1.3, da cui le pressioni sulla soglia ( $p_{MI}$ ), sul ciglio superiore ( $p_{MS}$ ) e quella media agente sulla paratoia ( $p_{MM}$ ) sono stati calcolati come:

$p = p_{acqua,m} - p_{acqua,v} + p_{sisma,m} - p_{sisma,v} + F_{eq}/(b * h_i)$ , dove  $b * h_i$  è l'area di influenza della trave in esame come vista in precedenza.

Da cui risulta:

$$p_{MI} = 0.122 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{MS} = 0.076 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{MM} = 0.101 \text{ N/mm}^2$$

Carico sulla paratoia:

$$Q_M = p_{MM} \cdot b \cdot h = 3147.48 \text{ kN}$$

#### Attrito perni di rotazione:

- Massimo coefficiente di attrito boccole  $\mu_{BMAX} = 0.2$
- Minimo coefficiente di attrito boccole  $\mu_{BMIN} = 0.05$
- Diametro delle ruote  $D = 490 \text{ mm}$
- Diametro dei perni  $D_P = 120 \text{ mm}$

Forza massima di attrito dei perni:

$$F_{PS} = Q_M \cdot (D_P / D) \cdot \mu_{BMAX} = 154.16 \text{ kN}$$

Forza minima di attrito dei perni:

$$F_{PI} = Q_M \cdot (D_P / D) \cdot \mu_{BMIN} = 38.54 \text{ kN}$$

Attrito volvente:

- Eccentricità della risultante del carico sulle ruote  $e = 0.5 \text{ mm}$

Con lo stesso significato dei simboli di cui sopra:

$$F_R = Q_M \cdot e / (D / 2) = 6.42 \text{ kN}$$

Attrito delle guarnizioni di tenuta:

- Interasse tenute laterali  $b = 6800 \text{ mm}$
- Interasse tenute orizzontali  $h = 4590 \text{ mm}$
- Forza di precarica delle guarnizioni  $f_p = 1 \text{ N/mm}$
- Larghezza equivalente di carico delle guarnizioni  $L_e = 24.0 \text{ mm}$
- Coefficiente d'attrito massimo guarnizioni  $\mu_{GMAX} = 0.8$
- Coefficiente d'attrito minimo guarnizioni  $\mu_{GMIN} = 0.2$

Forza d'attrito massima dovuta alle guarnizioni:

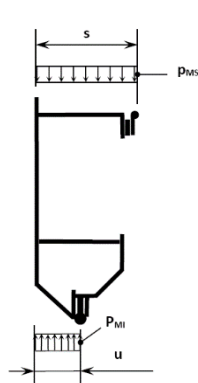
$$F_{GMAX} = [(L_e \cdot p_{MS} + f_p) \cdot b + (L_e \cdot p_{MM} + f_p) \cdot h \cdot 2] \cdot \mu_{GMAX} = 40.44 \text{ kN}$$

Cautelativamente, nel calcolo della forza di attrito minima, non si tiene conto della forza di precarica in quanto potrebbe variare nel tempo, inoltre si considera una posizione in cui la guarnizione superiore non sia ancora entrata in contatto con la controsede.

$$F_{GMIN} = L_e \cdot p_{MM} \cdot h \cdot 2 \cdot \mu_{GMIN} = 4.44 \text{ kN}$$

Spinta idraulica verticale:

La distribuzione delle pressioni idrauliche e la larghezza delle zone caricate sono rappresentate nella figura seguente:



$$s = 736 \text{ mm}$$

$$u = 268 \text{ mm}$$

$$\text{Coefficiente di massimo downpull: } \varphi_d = 0.5$$

Per tenere conto della situazione più cautelativa, si considera il downpull nel calcolo della massima forza in frenatura, mentre quando si verifica la possibilità di chiusura per peso proprio, il downpull viene considerato nullo (condizione effettiva in prossimità della chiusura completa).

Forza idraulica verticale verso il basso in frenatura:

$$F_{IF} = (p_{MS} \cdot s - p_{MI} \cdot u \cdot \varphi_d) \cdot b = 267.32 \text{ kN}$$

Forza idraulica verticale verso il basso in prossimità della chiusura:

$$F_{IC} = (p_{MS} \cdot s - p_{MI} \cdot u) \cdot b = 155.79 \text{ kN}$$

### Peso della paratoia

Il peso totale della paratoia con gruppi ruota e guarnizioni è:

$$P_P = 18000 \text{ kg} = 176.58 \text{ kN}$$

Il peso proprio del cilindro e dell'olio contenuto è circa:

$$P_{CIL} = 2000 \text{ kg} = 19.62 \text{ kN}$$

Peso complessivo:

$$P_W = P_P + P_{CIL} = 196.2 \text{ kN}$$

### Verifica della possibilità di chiusura sotto flusso:

Occorre verificare se, durante la chiusura in emergenza, la paratoia è in grado di terminare la manovra per gravità, col meccanismo oleodinamico che funziona solo come freno.

Come previsto dalla norma DIN 19704, si considera un coefficiente di sicurezza sulle forze di attrito pari a 1.25.

Forza residua durante la chiusura (non si considera il peso del cilindro poiché non agisce completamente, e il peso della paratoia non è amplificato in quanto favorevole):

$$F_C = P_P + F_{IC} - 1.25 \cdot (F_{PS} + F_R + F_{GMAX}) = 81.08 kN$$

La forza residua è ampiamente sufficiente per chiudere la paratoia e precaricare la guarnizione di soglia.

#### Forza massima in frenatura:

Per determinare il valore massimo della forza, si considerano gli attriti minimi (trascurando l'attrito volvente) e la condizione di massimo downpull; in questo caso il peso della paratoia e del pistone sono amplificati di un fattore  $\gamma=1.3$  in quanto sfavorevoli.

$$F_F = 1.3 \cdot P_W + F_{IF} - F_{PI} - F_{GMIN} = 479.39 kN$$

#### Meccanismo di manovra:

- Dimensioni del cilindro oleodinamico  $\varnothing 220 / 110 \text{ mm}$
- Area di spinta:  $A = 28510 \text{ mm}^2$

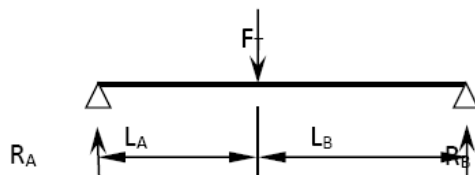
Pressione massima in apertura:

$$p = F_F / A = 168.15 \text{ bar}$$

Pressione massima consentita:  $250 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VERIFICATO}$

### 11.1.6 Trave di supporto del cilindro

La forza massima che deve essere sostenuta dalla trave di supporto è  $F_F$ ; lo schema di calcolo è il seguente:



$$L_A = 588 \text{ mm}$$

$$L_B = 640 \text{ mm}$$

Risulta:

$$R_A = F_F \cdot L_B / (L_A + L_B) = 249.85 \text{ kN}$$

$$R_B = F_F - R_A = 229.55 \text{ kN}$$

Momento flettente massimo:

$$M_{max} = R_A \cdot L_A = 14.69 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

La trave di supporto è costituita da due profilati accoppiati tipo UPN 400, aventi ciascuno le seguenti caratteristiche:

- |                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| - Area                 | $A = 9150 \text{ mm}^2$             |
| - Momento d'inerzia    | $J = 2.035 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$ |
| - Modulo di resistenza | $W = 1.020 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ |

Massima sollecitazione sulla trave:

$$\sigma = M_{max} / (2 \cdot W) = 72.01 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.1.7 Deformabilità del diaframma

Per determinare la massima deformazione orizzontale della paratoia, si considera la freccia massima in mezzzeria della trave soggetta alla sollecitazione maggiore, ottenuta come:

$$f = \frac{P}{384 * E * J} * (8 * L^3 - 4 * b^2 * L + b^3)$$

Allo stato limite di esercizio, si considerano i medesimi carichi assunti per lo stato limite ultimo, ma con i parametri relativi allo SLD invece che allo SLC.

Come per le verifiche agli SLU, la trave intermedia più sollecitata è quella subito sopra alla trave di soglia, ed è soggetta ai seguenti carichi:

Spinta dell'acqua:

$$S_w = \gamma_w * z * b * h_i = 80.18 \frac{kN}{m^2} * 6.8 * 0.52 \approx 283 kN$$

Forze inerziali:

$$P_h = V * \rho * a = 0.099 m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 0.247 g \approx 2 kN$$

Sovrappinta sismica dell'acqua:

$$S_{w,sovr} = 17.25 \frac{kN}{m^2} * 6.8 * 0.52 \approx 61 kN$$

Il carico totale agente è quindi pari a  $P = 346.40 kN$

Interasse tra gli appoggi:	L= 7070 mm
Interasse tenute verticali:	b= 6800 mm
Momento d'inerzia della sezione:	J = 1.375 * 10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Modulo elastico:	E=206000 MPa

La deformazione massima risulta quindi:

$$f = 5.84 mm$$

Per determinare i limiti massimi sugli spostamenti si è considerata la normativa NTC 2018 (paragrafo 4.2.4.2.1), la quale prevede che in caso di specifiche esigenze tecniche

**MO-E-1357** - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



e/o funzionali i limiti della tabella 4.2.XII debbano essere opportunamente ridotti; considerando la presenza delle guarnizioni e volendone garantire la completa tenuta, il limite viene imposto a un valore pari a  $L/1000$ .

$L$  è la luce delle tenute verticali, che nel caso in esame è pari a 6800 mm.

Risulta quindi  $f_{max} = 6800/1000 = 6.8 \text{ mm} > f \rightarrow \text{VERIFICATO}$

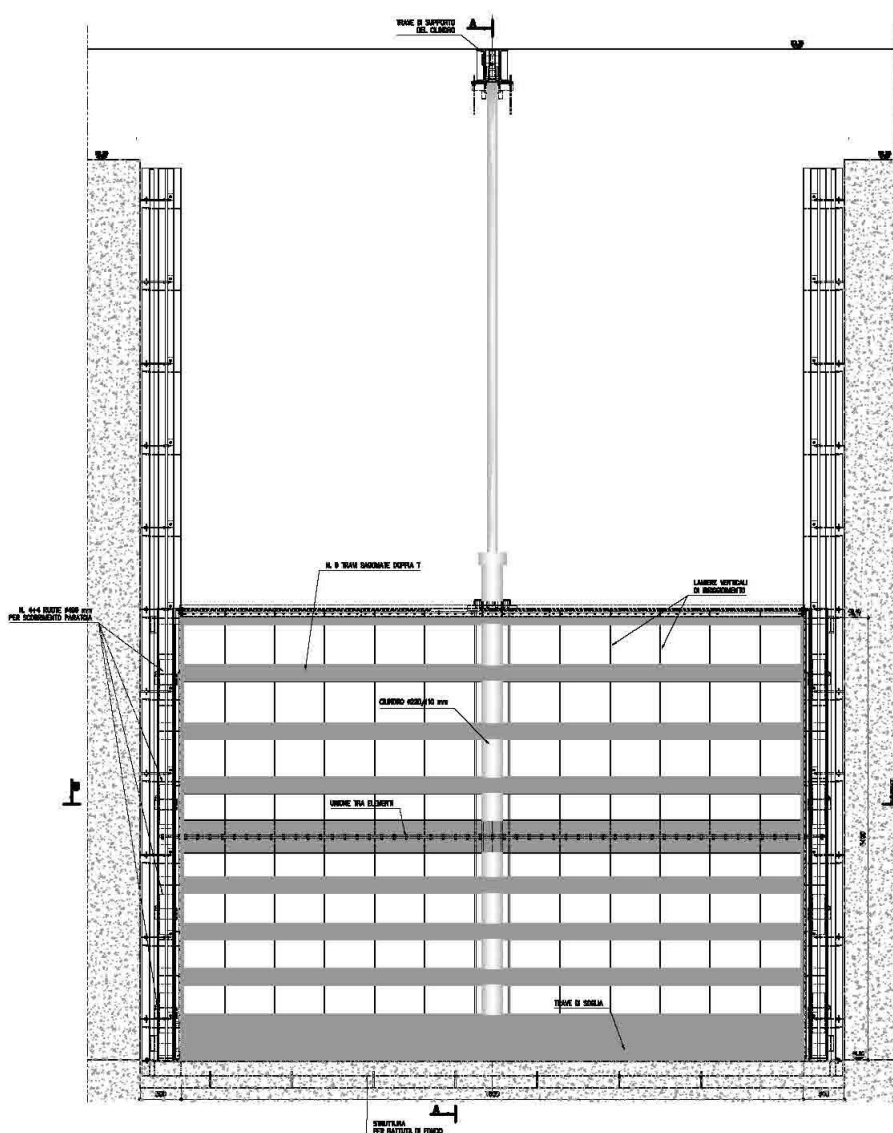


## 11.2 Manufatto di derivazione nell'invaso laterale

### 11.2.1 Caratteristiche tecniche

Le paratoie del manufatto di derivazione, visibili nell'immagine seguente, presentano una luce di 7.60x5.40m; sono costituite da uno scudo metallico di spessore 12mm vincolato a una struttura portante realizzata con travi orizzontali sagomate a doppia T e irrigidita con lamiere verticali.

La paratoia, movimentata da cilindri oleodinamici in acciaio, scorre all'interno di gargami in lamiera per mezzo di 8 ruote di diametro 490 mm.



Per ulteriori informazioni si rimanda alla tabella seguente nonché alla tavola B.6

“Intervento B: Adeguamento del manufatto di derivazione nell’invaso laterale: Organi di manovra: paratoia”.

Larghezza libera della luce:	7.60 m
Altezza libera della luce:	5.40 m
Interasse tenute verticali:	7700 mm
Interasse tenute orizzontali:	5490 mm
Interasse ruote:	7970 mm
Quota di soglia:	41.00 m s.l.m.
Massimo livello di monte per le verifiche statiche:	48.75 m s.l.m.
Massimo livello operativo di monte:	48.75 m s.l.m.
Tenuta su quattro lati da monte verso valle	
Apertura a carico equilibrato	
Chiusura normale a carico equilibrato	

### 11.2.2 Materiali

Le resistenze dei materiali componenti la paratoia sono state calcolate in accordo con la normativa (NTC 2018, paragrafo 4.2.4.11), applicando alle resistenze caratteristiche opportuni fattori  $\gamma$ ; in assenza di specifiche indicazioni o in caso di valori più conservativi si sono utilizzati i coefficienti riportati nella DIN 19704.

#### Struttura principale

Acciaio strutturale: EN 10025 S275 JR

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 261.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,yd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 151.2 \text{ N/mm}^2$$

#### Gruppi ruota

Ruote: 2C40 UNI EN 10083

$$f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Rotaie: EN 10025 S355 JR

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

Perni: AISI 420

$$f_{yk} = 590 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1.5 \quad (\text{DIN 19704})$$

$$f_{yd,perno} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 393.3 \text{ N/mm}^2$$

Trave di supporto: EN 10025 S275 JR

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1.5 \quad (\text{DIN 19704})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 183.3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,yd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 105.8 \text{ N/mm}^2$$

Calcestruzzo:

C25/30

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 * R_{ck} = 24.9 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.1 \text{ MPa}$$

### Trave di supporto del cilindro

Acciaio strutturale: EN 10025 S275 JR

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

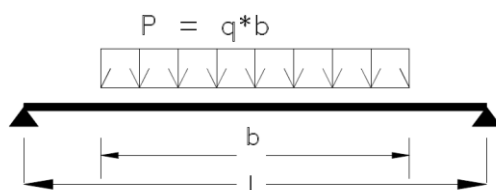
$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 261.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,yd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 151.2 \text{ N/mm}^2$$

### 11.2.3 Verifica della struttura principale

La paratoia è strutturata in modo tale che le spinte dovute al battente idraulico agenti sul mantello siano trasmesse da questo e dalle nervature verticali alle travi principali orizzontali. L'insieme di queste sostiene quindi l'intero carico idraulico scaricandolo sulle fiancate laterali e quindi sulle ruote; la distribuzione di carico su ciascuna trave è quindi la seguente, dove P e q sono date dalle combinazioni di carico:



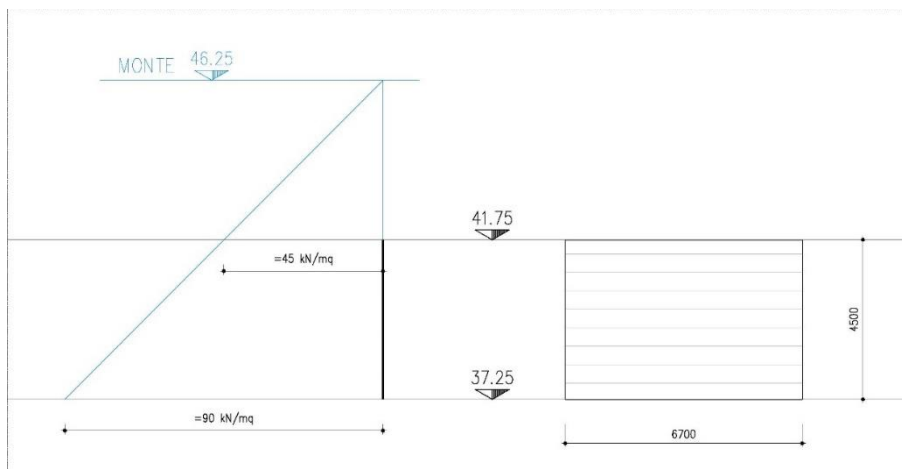
Interasse tra gli appoggi:	L= 7970 mm
Interasse tenute verticali:	b= 7700 mm
Interasse tenute orizzontali:	h= 5490 mm
Massimo battente di monte:	H <sub>s</sub> = 7.75 m

Per individuare gli elementi soggetti alle sollecitazioni maggiori si sono considerate le pressioni medie agenti su ciascuna trave, moltiplicate per le rispettive aree di incidenza (lunghezza \* somma delle semidistanze dalle travi vicine). Sono poi state verificate la trave di soglia e la trave intermedia soggetta ai carichi maggiori, nonché il pannello più critico.

Nella combinazione SISMICA sono quindi stati considerati i seguenti carichi:

- spinta dell'acqua, visibile nella figura seguente;
- forze sismiche inerziali, calcolate con le accelerazioni presentate al paragrafo 8.5;
- sovraspinta sismica dell'acqua, calcolata come al paragrafo 8.6.

Trattandosi di una combinazione sismica, i coefficienti moltiplicativi sono unitari.



Con questa combinazione, la trave intermedia più sollecitata è quella subito sopra alla trave di soglia, ed è soggetta ai seguenti carichi:

Spinta dell'acqua:

$$S_w = \gamma_w * z * b * h_i = 42.25 \frac{kN}{m^2} * 7.7 * 0.53 \approx 172 \text{ kN}$$

Forze inerziali:

$$P_h = V * \rho * a = 0.112 m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 0.562 g \approx 5 \text{ kN}$$

Sovrappinta sismica dell'acqua:

$$S_{w,sovr} = 14.78 \frac{kN}{m^2} * 7.7 * 0.53 \approx 60 \text{ kN}$$

Il carico totale agente è quindi pari a  $P = 238 \text{ kN}$

Per la trave di soglia, seguendo la medesima procedura risulta invece:

$$P = 379 \text{ kN}$$

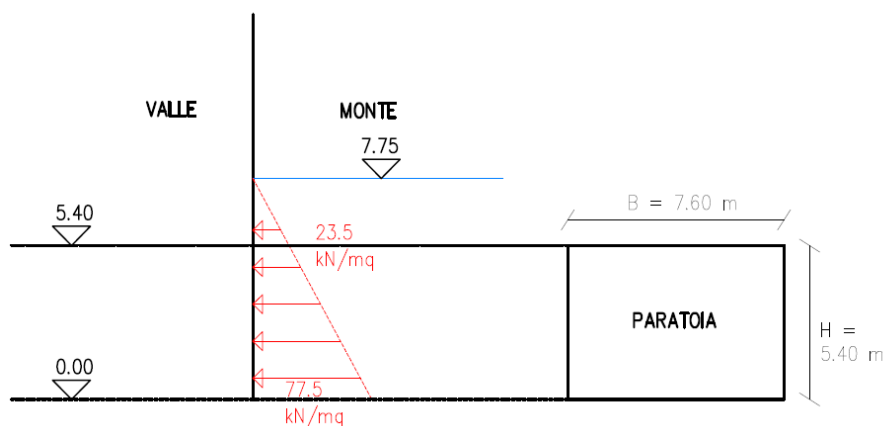
Il carico totale agente sulla paratoia in questo caso risulta:

$$Q = 1562 \text{ kN}$$

Nella combinazione SLU FONDAMENTALE sono invece stati considerati i seguenti carichi:

- spinta dell'acqua, visibile nella figura seguente;

Trattandosi di una combinazione SLU, tale spinta è amplificata con un coefficiente 1.3.



Con questa combinazione, la trave intermedia più sollecitata è quella subito sopra alla trave di soglia, ed è soggetta ai seguenti carichi:

Spinta dell'acqua:

$$S_w = \gamma_w * z * b * h_i = 67.25 \frac{kN}{m^2} * 7.7 * 0.53 \approx 275 \text{ kN}$$

Il carico totale agente è quindi pari a  $P = 275 * 1.3 = 358 \text{ kN}$

Per la trave di soglia, seguendo la medesima procedura risulta invece:

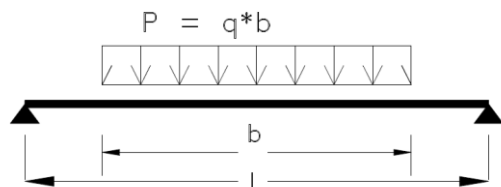
$$P = 554 \text{ kN}$$

Il carico totale agente sulla paratoia in questo caso risulta:

$$Q = 2737 \text{ kN}$$

Si osserva quindi come per questo manufatto la combinazione SLU risulta più critica per le strutture, per cui i risultati riportati di seguito faranno riferimento unicamente a tale combinazione.

### 11.2.3.1 Verifica delle travi intermedie



$$L = 7970 \text{ mm}$$

$$b = 7700 \text{ mm}$$

$$P = 358.46 \text{ kN}$$

Massimo momento flettente:

$$M = P \cdot (2 \cdot L - b) / 8 = 3.69 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

Massima azione di taglio:

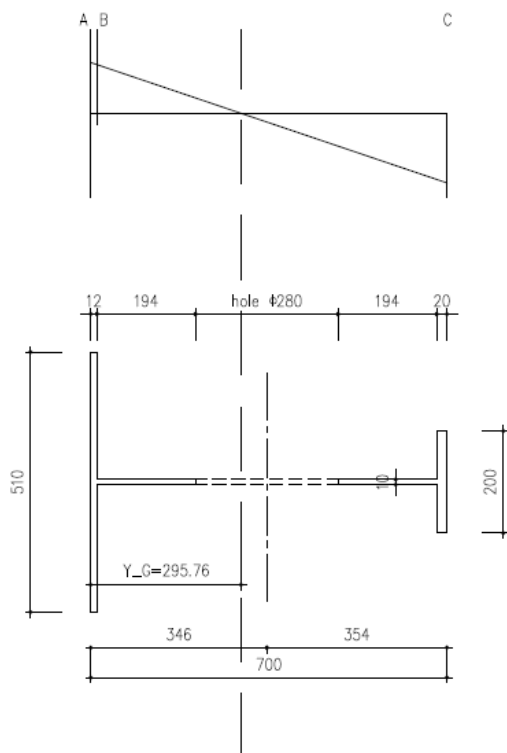
$$T = \frac{P}{2} = 179.2 \text{ kN}$$

In base alla norma DIN 19704, la larghezza della parte di mantello collaborante con la sezione resistente della trave può essere calcolata in funzione dei seguenti parametri:

Lunghezza tra gli appoggi:	$L_i = L = 7970 \text{ mm}$
Distanza minima tra due travi successive:	$2B = 520 \text{ mm}$
Rapporto di lunghezza supporti:	$L_i/B = 30.65$
Fattore di riduzione (DIN 19704)	$v_i = 0.98$
Larghezza lamiera collaborante:	$L_{ci} = v_i \cdot 2B = 509.6 \text{ mm}$



La sezione resistente della trave risulta quindi:



Area	$A = 14000 \text{ mm}^2$
Posizione baricentro	$Y_G = 295.76 \text{ mm}$
Momento d'inerzia	$J = 1.375 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
Moduli di resistenza	$W_A = 4.65 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
	$W_C = 3.40 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
Momento statico	$S = 2.06 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

Le massime sollecitazioni di flessione sulla trave sono:

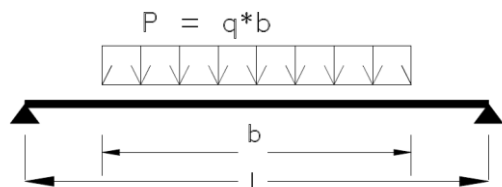
Soll. di pannello:	$\sigma_A = -M / W_A =$	- 79.40 N/mm <sup>2</sup>
Soll. di pannello:	$\sigma_B =$	- 76.18 N/mm <sup>2</sup>
Soll. di ala libera:	$\sigma_C = M / W_C =$	108.53 N/mm <sup>2</sup>

$$\sigma < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Massima sollecitazione di taglio:

$$\tau = \frac{T \cdot S}{sp \cdot J} = 26.80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{w,yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.2.3.2 Verifica della trave di soglia



$$L = 7970 \text{ mm}$$

$$b = 7700 \text{ mm}$$

$$P_s = 554.22 \text{ kN}$$

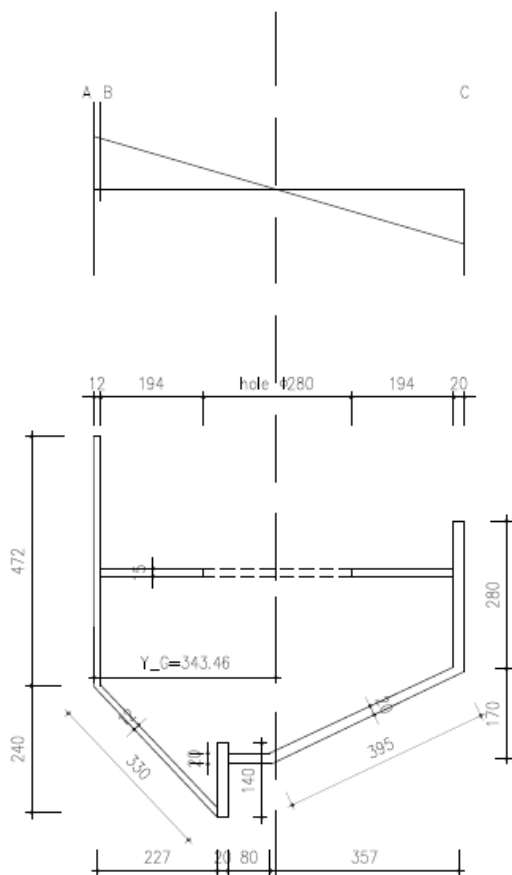
Massimo momento flettente:

$$M_s = P_s * (2 * L - b) / 8 = 5.71 * 10^8 \text{ Nmm}$$

Massima azione di taglio:

$$T_s = \frac{P_s}{2} = 277.11 \text{ kN}$$

In questo caso la sezione resistente della trave risulta:



Area	A = 32582 mm <sup>2</sup>
Posizione baricentro	Y <sub>G</sub> = 343.46 mm
Momento d'inerzia	J = 2.172 * 10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Moduli di resistenza	W <sub>A</sub> = 6.32 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
	W <sub>C</sub> = 6.09 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Momento statico	S = 6.61 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>

Le massime sollecitazioni di flessione sulla trave sono:

Soll. di pannello:  $\sigma_A = - M_s / W_A =$  - 90.28 N/mm<sup>2</sup>

Soll. di pannello:  $\sigma_B =$  - 87.12 N/mm<sup>2</sup>

Soll. di ala libera:  $\sigma_C = M_s / W_C =$  93.72 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma < f_{yd} \rightarrow VERIFICATO$

Massima sollecitazione di taglio:

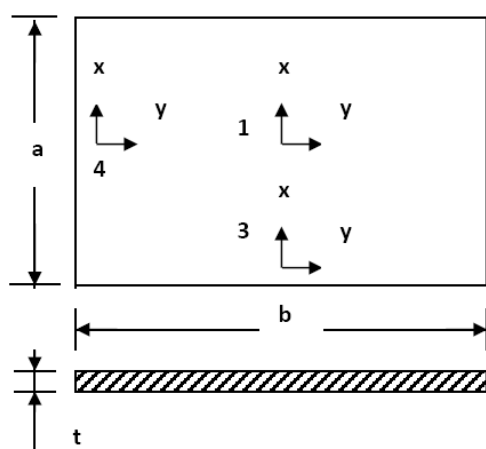
$$\tau = \frac{T_s * S}{sp * J} = 32.23 \text{ N/mm}^2 < f_{w,yd} \rightarrow VERIFICATO$$

### 11.2.3.3 Verifica dei pannelli

Dalla combinazione fondamentale risulta che la pressione media agente sul pannello più sollecitato è pari a:

$$p = \frac{P}{b * H} = \frac{358.46 kN}{7.7m * 0.53m} = 0.087 N/mm^2$$

Le sollecitazioni di pannello sono calcolate secondo DIN 19704, nei punti significativi seguenti:



a =	520 mm
b =	610 mm
t =	12 mm
p =	0.12 N/mm <sup>2</sup>
b/a =	1.17
k1X =	20.83
k1Y =	12.70
k3X =	43.50
k3Y =	13.05
k4X =	10.24
k4Y =	34.15

Le sollecitazioni sono calcolate secondo la relazione:

$$\sigma = k / 100 \cdot p \cdot a^2 / t^2$$

Le sollecitazioni nel pannello sono:

$$\sigma_{1X} = \mp 34.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1Y} = \mp 20.85 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3X} = \pm 71.41 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{3Y} = \pm 21.42 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4X} = \pm 16.82 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{4Y} = \pm 56.06 \text{ N/mm}^2$$

Il massimo valore di sollecitazione composta si ottiene combinando le tensioni della trave intermedia con quelle del pannello superiore; la massima tensione si trova al bordo del pannello avente il lato perpendicolare alla trave, in corrispondenza della superficie di valle.

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_{4Y})^2 + \sigma_{4X}^2} - (\sigma_B + \sigma_{4Y}) * \sigma_{4X} = 124.69 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.2.4 Verifica delle ruote e delle rotaie

Per le verifiche successive si considera che il carico totale agente sulla paratoia calcolato in precedenza venga trasmesso e suddiviso equamente tra le 8 ruote

#### 11.2.4.1 Pressione hertziana

- Carico sulla paratoia	$Q = 2737.38 \text{ kN}$
- Numero delle ruote	$n = 8$
- Diametro delle ruote	$D = 490 \text{ mm}$
- Larghezza della zona di contatto	$a = 150 \text{ mm}$
- Modulo di elasticità	$E = 206000 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di Poisson	$\nu = 0.3$

Carico su ciascuna ruota:

$$P = Q / n = 342.17 \text{ kN}$$

La massima pressione di contatto tra ruota e rotaia viene calcolata secondo la teoria di Hertz; la semilarghezza dell'area di contatto è data da:

$$b = \sqrt{\frac{4 * P * D * (1 - \nu^2)}{\pi * E * a}} = 2.51 \text{ mm}$$

La massima pressione Hertziana vale:

$$p = \sqrt{\frac{P * E}{\pi * D * a * (1 - \nu^2)}} = 579.2 \text{ N/mm}^2$$

Le ruote sono costruite in acciaio 2C40 UNI EN 10083, mentre le rotaie sono in acciaio S 355 UNI EN 10025. Ai fini della determinazione della pressione specifica ammissibile occorre quindi considerare il materiale di cui sono composte le rotaie, che presenta caratteristiche meccaniche inferiori.

La resistenza di progetto, secondo quanto indicato nelle Norme DIN 19704 è:

$$p_{Rd} = 3 * f_{yk} = 1065 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### 11.2.4.2 Verifica dei perni

Lo schema di carico è il medesimo considerato per le travi intermedie, considerando le seguenti caratteristiche:

Interasse tra gli appoggi	$L = 204 \text{ mm}$
Lunghezza boccola	$b = 160 \text{ mm}$
Diametro del perno	$D_p = 115 \text{ mm}$
Modulo di resistenza del perno	$W_p = 1.493 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$

Massimo momento flettente:

$$M = P \cdot (2 \cdot L - b) / 8 = 10.61 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Massima sollecitazione di flessione:

$$\sigma = \frac{M}{W_p} = 71.04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{yd,perno} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

#### 11.2.4.3 Pressione specifica sulla boccola

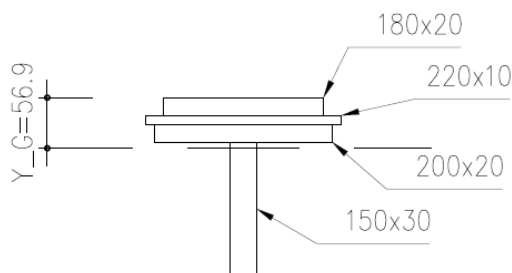
Con lo stesso significato dei simboli di cui al punto precedente, la massima pressione specifica agente sulla boccola é:

$$p_s = P / (b \cdot D_p) = 18.60 \text{ N/mm}^2$$

Press. spec. ammissibile secondo catalogo del Costruttore:  $50 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VERIFICATO}$

#### 11.2.4.4 Verifica delle rotaie

Per la trasmissione della spinta delle ruote al calcestruzzo, si considera una trave di acciaio avente la sezione tipica seguente:



Area	A = 14300 mm <sup>2</sup>
Posizione baricentro	Y <sub>G</sub> = 56.9 mm
Momento d'inerzia	J = 4.088 * 10 <sup>7</sup> mm <sup>4</sup>
Moduli di resistenza	W <sub>A</sub> = 7.186 * 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>
	W <sub>C</sub> = 2.856 * 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>
Momento statico	S = 3.072 * 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>

Il calcolo è svolto secondo DIN 19704 e M. HETENYI "Beam on Elastic Foundation".

Il massimo momento flettente sulla trave è:

$$M = \frac{P}{4} * \sqrt[4]{\frac{4 * E * J}{l_p * k_0}} = 14.57 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Essendo:

- Larghezza di contatto trave-cemento  $l_p = 200 \text{ mm}$
- Modulo della fondazione (calcestruzzo)  $k_0 = 200 \text{ N/mm}^3$

Massima sollecitazione di flessione sulla trave:

$$\sigma = M / W_c = 51.02 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Azione di taglio:

$$T = P / 2 = 171.09 \text{ kN}$$

Massima sollecitazione di taglio:

$$\tau = T \cdot S / (s \cdot J) = 42.86 \text{ N/mm}^2 < f_{w,yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Massima pressione specifica sul calcestruzzo:

$$p_{SP} = \frac{T}{l_p} * \sqrt[4]{\frac{l_p * k_0}{4 * E * J}} = 5.02 \text{ N/mm}^2 < f_{cd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.2.5 Forze di manovra

Per la combinazione SLU sono quindi stati considerati i medesimi carichi descritti al paragrafo 11.1.3, da cui le pressioni sulla soglia ( $p_{MI}$ ), sul ciglio superiore ( $p_{MS}$ ) e quella media agente sulla paratoia ( $p_{MM}$ ) sono stati calcolati come:

$$p = 1.3 * (p_{acqua,m} - p_{acqua,v} + p_{sisma,m} - p_{sisma,v} + \frac{F_{eq}}{b * h_i})$$
, dove  $b * h_i$  è l'area di influenza della trave in esame come vista in precedenza.

Da cui risulta:

$$p_{MI} = 0.094 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{MS} = 0.029 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{MM} = 0.065 \text{ N/mm}^2$$

Carico sulla paratoia:

$$Q_M = p_{MM} \cdot b \cdot h = 2737.38 \text{ kN}$$

#### Attrito perni di rotazione:

- |   |                        |
|---|------------------------|
| - Massimo coefficiente di attrito boccole | $\mu_{BMAX} = 0.2$     |
| - Minimo coefficiente di attrito boccole  | $\mu_{BMIN} = 0.05$    |
| - Diametro delle ruote                    | $D = 490 \text{ mm}$   |
| - Diametro dei perni                      | $D_P = 120 \text{ mm}$ |

Forza massima di attrito dei perni:

$$F_{PS} = Q_M \cdot (D_P / D) \cdot \mu_{BMAX} = 134.08 \text{ kN}$$

Forza minima di attrito dei perni:

$$F_{PI} = Q_M \cdot (D_P / D) \cdot \mu_{BMIN} = 33.52 \text{ kN}$$

#### Attrito volante:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| - Eccentricità della risultante del carico sulle ruote | $e = 0.5 \text{ mm}$ |
|--|----------------------|

Con lo stesso significato dei simboli di cui sopra:

$$F_R = Q_M \cdot e / (D / 2) = 5.59 \text{ kN}$$



### Attrito delle guarnizioni di tenuta:

- Interasse tenute laterali	$b = 7700 \text{ mm}$
- Interasse tenute orizzontali	$h = 5490 \text{ mm}$
- Forza di precarica delle guarnizioni	$f_p = 1 \text{ N/mm}$
- Larghezza equivalente di carico delle guarnizioni	$L_e = 24.0 \text{ mm}$
- Coefficiente d'attrito massimo guarnizioni	$\mu_{GMAX} = 0.8$
- Coefficiente d'attrito minimo guarnizioni	$\mu_{GMIN} = 0.2$

Forza d'attrito massima dovuta alle guarnizioni:

$$F_{GMAX} = [(L_e \cdot p_{MS} + f_p) \cdot b + (L_e \cdot p_{MM} + f_p) \cdot h \cdot 2] \cdot \mu_{GMAX}$$

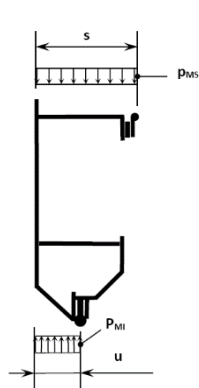
$$= 32.94 \text{ kN}$$

Cautelativamente, nel calcolo della forza di attrito minima, non si tiene conto della forza di precarica in quanto potrebbe variare nel tempo, inoltre si considera una posizione in cui la guarnizione superiore non sia ancora entrata in contatto con la controsede.

$$F_{GMIN} = L_e \cdot p_{MM} \cdot h \cdot 2 \cdot \mu_{GMIN} = 3.41 \text{ kN}$$

### Spinta idraulica verticale:

La distribuzione delle pressioni idrauliche e la larghezza delle zone caricate sono rappresentate nella figura seguente:



$$s = 736 \text{ mm}$$

$$u = 268 \text{ mm}$$

$$\text{Coefficiente di massimo downpull: } \varphi_d = 0.5$$

Per tenere conto della situazione più cautelativa, si considera il downpull nel calcolo della massima forza in frenatura, mentre quando si verifica la possibilità di chiusura

per peso proprio, il downpull viene considerato nullo (condizione effettiva in prossimità della chiusura completa).

Forza idraulica verticale verso il basso in frenatura:

$$F_{IF} = (p_{MS} \cdot s - p_{MI} \cdot u \cdot \varphi_d) \cdot b = 69.44 \text{ kN}$$

Forza idraulica verticale verso il basso in prossimità della chiusura:

$$F_{IC} = (p_{MS} \cdot s - p_{MI} \cdot u) \cdot b = -27.79 \text{ kN}$$

### Peso della paratoia

Il peso totale della paratoia con gruppi ruota e guarnizioni è:

$$P_P = 25000 \text{ kg} = 245.25 \text{ kN}$$

Il peso proprio del cilindro e dell'olio contenuto è circa:

$$P_{CIL} = 2000 \text{ kg} = 19.62 \text{ kN}$$

Peso complessivo:

$$P_W = P_P + P_{CIL} = 264.87 \text{ kN}$$

### Verifica della possibilità di chiusura sotto flusso:

Occorre verificare se, durante la chiusura in emergenza, la paratoia è in grado di terminare la manovra per gravità, col meccanismo oleodinamico che funziona solo come freno.

Come previsto dalla norma DIN 19704, si considera un coefficiente di sicurezza sulle forze di attrito pari a 1.25.

Forza residua durante la chiusura (non si considera il peso del cilindro poiché non agisce completamente, e il peso della paratoia non è amplificato in quanto favorevole):

$$F_C = P_P + F_{IC} - 1.25 \cdot (F_{PS} + F_R + F_{GMAX}) = 1.73 \text{ kN}$$

La forza residua è sufficiente per chiudere la paratoia e precaricare la guarnizione di soglia.

### Forza massima in frenatura:

Per determinare il valore massimo della forza, si considerano gli attriti minimi (trascurando l'attrito volvente) e la condizione di massimo downpull; in questo caso il

peso della paratoia e del pistone sono amplificati di un fattore  $\gamma=1.3$  in quanto sfavorevoli.

$$F_F = 1.3 * P_W + F_{IF} - F_{PI} - F_{GMIN} = 376.84 \text{ kN}$$

#### Meccanismo di manovra:

- Dimensioni del cilindro oleodinamico  $\varnothing 220 / 110 \text{ mm}$
- Area di spinta:  $A = 28510 \text{ mm}^2$

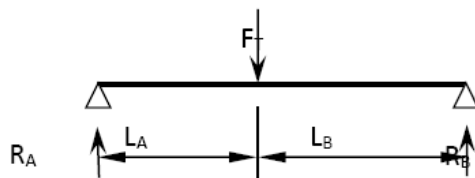
Pressione massima in apertura:

$$p = F_F / A = 132.18 \text{ bar}$$

Pressione massima consentita:  $250 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VERIFICATO}$

### 11.2.6 Trave di supporto del cilindro

La forza massima che deve essere sostenuta dalla trave di supporto è  $F_F$ ; lo schema di calcolo è il seguente:



$$L_A = 585 \text{ mm}$$

$$L_B = 840 \text{ mm}$$

Risulta:

$$R_A = F_F \cdot L_B / (L_A + L_B) = 222.14 \text{ kN}$$

$$R_B = F_F - R_A = 154.70 \text{ kN}$$

Momento flettente massimo:

$$M_{max} = R_A \cdot L_A = 13 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

La trave di supporto è costituita da due profilati accoppiati tipo UPN 400, aventi ciascuno le seguenti caratteristiche:

- |                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| - Area                 | $A = 9150 \text{ mm}^2$             |
| - Momento d'inerzia    | $J = 2.035 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$ |
| - Modulo di resistenza | $W = 1.020 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ |

Massima sollecitazione sulla trave:

$$\sigma = M_{max} / (2 \cdot W) = 63.70 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 11.2.7 Deformabilità del diaframma

Per determinare la massima deformazione orizzontale della paratoia, si considera la freccia massima in mezzzeria della trave soggetta alla sollecitazione maggiore, ottenuta come:

$$f = \frac{P}{384 * E * J} * (8 * L^3 - 4 * b^2 * L + b^3)$$

Allo stato limite di esercizio, data l'assenza di azioni variabili, si considerano unicamente gli effetti della spinta dell'acqua, non amplificati; lo schema di carico è il medesimo utilizzato per la verifica a SLU, e la trave intermedia più sollecitata risulta, come in precedenza, quella inferiore, con un carico P pari a:

$$P = \Delta H * \gamma_w * b * h_i = 275.74 \text{ kN}$$

Interasse tra gli appoggi:	L= 7970 mm
Interasse tenute verticali:	b= 7700 mm
Momento d'inerzia della sezione:	J =1.375*10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Modulo elastico:	E=206000 MPa

La deformazione massima risulta quindi:

$$f = 6.63 \text{ mm}$$

Per determinare i limiti massimi sugli spostamenti si è considerata la normativa NTC 2018 (paragrafo 4.2.4.2.1), la quale prevede che in caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali i limiti della tabella 4.2.XII debbano essere opportunamente ridotti; considerando la presenza delle guarnizioni e volendone garantire la completa tenuta, il limite viene imposto a un valore pari a L/1000.

L è la luce delle tenute verticali, che nel caso in esame è pari a 7700 mm.

Risulta quindi  $f_{max} = 7700/1000 = 7.7 \text{ mm} > f \rightarrow \text{VERIFICATO}$