

Regione Emilia-Romagna  
Direzione Generale Cura del Territorio e dell'Ambiente

IDROVIA FERRARESE - 1° LOTTO 1° STRALCIO  
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE BOTTE SIFONE DEL CANALE CITTADINO  
ALL'ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE BOICELLI

PROGETTO ESECUTIVO

RUP:

Dott. Claudio Miccoli  
REGIONE EMILIA-ROMAGNA  
AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE  
SERVIZIO AREA RENO PO DI VOLANO - SEDE DI FERRARA

PROGETTAZIONE:

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I)  
**MC Engineering Srl**   
Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it

**Direttore tecnico:**  
Ing. Mario Chinni  
(Albo Ingegneri Bologna nr. 4776/A)

**Gruppo di lavoro:**  
Ing. Giorgio Fantini  
Ing. Cristina Osti  
Geom. Dario Calvanese

Titolo:


RELAZIONE DI CALCOLO BOTTE SIFONE

Codice elaborato

1 3 1 6 R 7 0 1 1 E 2


Data	13/06/2018	Archivio	1316_R_7011_E_2.pdf	Scala	-
02	13/06/2018	Aggiornamento a seguito di istruttoria tecnica del 07/06/2018		MC	GF MC
01	04/06/2018	Aggiornamento per passaggio competenza RER		MC	GF MC
00	30/09/2016	Emissione		MC	GF MC
Rev.	Data	Oggetto		Redatto	Controllato Approvato



 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b> Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Codice:	1316-R-7011-E-2
		Data:	13/06/2018
		Calcolo botte sifone	

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	2
1.1	SOVRACCARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	2
1.2	IL MODELLO DI CALCOLO .....	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3.	MATERIALI.....	5
3.1	CLS PER GETTI IN OPERA .....	5
3.2	ACCIAIO IN BARRE .....	6
4.	PARAMETRI DEL TERRENO .....	7
5.	CALCOLI .....	8
5.1	MODELLO PIANO .....	8
5.2	VERIFICA UPL .....	13
5.3	VERIFICA LONGITUDINALE.....	13
	APPENDICE A: VERIFICA SEZIONI IN CLS.....	15

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018

## 1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto tratta del calcolo strutturale della botte sifone di nuova costruzione. La struttura della condotta ha sezione rettangolare di dimensioni interne 2500x2500 mm e spessore della pareti di 450 mm conseguente alla necessità di bilanciare la sottospinta idraulica.

La lunghezza della condotta è di 56.50 m e gli element verticali di imbocco e sbocco si sviluppano per una altezza di circa 12.50 m. In figura 1.1 sono riportate le quote di riferimento di inserimento della condotta.

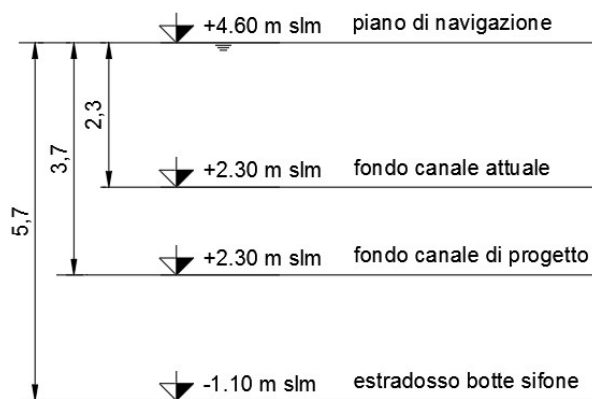



Fig. 1.1 – Quote altimetriche di riferimento

### 1.1 Sovraccarichi e Combinazioni di carico

La spinta delle terre è determinata dai parametri geotecnici ( $\gamma$ ,  $\phi'$ ,  $c'$ ,  $E_s$ ,  $E_{UR}$ ), la spinta idraulica si assume agente dal pelo libero del canale Boicelli. La caratteristica di provvisorietà dell'intervento di scavo (inferiore a 2 anni), non prevede l'azione sismica. Le combinazioni di carico analizzate sono le seguenti.

COMBINAZIONE	$G_{1k}$	$G_{2k}$	$W_k$	$T_k$	$E_{k,h}$	$E_{k,v}$
SLE K/QP	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
SLU STR 1	1.3	1.3	1.0	1.0	0.0	0.0
SLU STR 2	1.3	1.3	1.3	1.3	0.0	0.0
EQK 1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3
EQK 2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0
UPL	0.9	0.9	1.1	0.9	0.0	0.0

Essendo  $G_{1k}$  e  $G_{2k}$  rispettivamente i carichi permanenti strutturali e portati (terreno e acqua in calotta),  $W_k$  la spinta idrostatica laterale e sottostante la condotta,  $T_k$  la spinta laterale delle terre,  $E_{k,h}$  e  $E_{k,v}$  l'azione sismica rispettivamente orizzontale e verticale.

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.R.L. CERTIFICAZIONE 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Codice:	1316-R-7011-E-2
		Data:	13/06/2018
		Calcolo botte sifone	

## 1.2 Il modello di calcolo

Il calcolo viene affrontato ad EF in regime di deformazione piana sulla sola sezione, per le sollecitazioni trasversali alla condotta. Il calcolo viene affrontato mediante la tecnica degli elementi finiti implementata nel codice Straus7 della G&D Computing Australiana ([www.strand7.com](http://www.strand7.com)), al sito della quale si rimanda per gli elementi di validazione del codice.


Vengono utilizzati elementi tipo "beam" per la simulazione della struttura, mentre per simulare la presenza del terreno si fa riferimento ad un terreno, non reagente a trazione, di tipo liquido (elastico con molle non interagenti).

Per quanto attiene le verifiche in senso longitudinale allo sviluppo della condotta, il calcolo viene eseguito considerando due principali sottostrutture:

- La condotta orizzontale come trave incastrata alle estremità.
- Le condotte verticali come mensole incastrate alla base.

Tenendo conto del tipo di opera e delle azioni sollecitanti tale approccio risulta idoneo a riprodurre il comportamento tridimensionale del manufatto come richiesto al paragrafo 7.2.6 delle NTC08.

I modelli adottati consentono di valutare le sollecitazioni dimensionanti la struttura dalle quali è stato possibile risalire alle armature necessarie nel piano della sezione trasversale e della direzione longitudinale.

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018
		Calcolo botte sifone

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- DM 14 gennaio 2008: Norme Tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009 n.ro 617: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018
		Calcolo botte sifone

### 3. MATERIALI

#### 3.1 CIs per getti in opera

In tabella 3.1 sono riportati i valori di resistenza caratteristici e deformabilità del cls per getti in opera.

[ UNI EN 206-1]			
Classe di resistenza			C35/45
Classe di esposizione			XA3
Classe di lavorabilità			S4/S5
Dimensione massima degli inerti			22 mm
Parametri di resistenza e deformabilità			
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	35
Resistenza caratteristica a compressione cubica	$f_{ck,cube}$	[MPa]	45
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm}$	[MPa]	43
Resistenza a trazione media	$f_{ctm}$	[MPa]	3.21
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{ctk}$	[MPa]	2.25
Resistenza a trazione caratteristica per flessione	$f_{ctk}$	[MPa]	2.70
Modulo elastico	$E_{cm}$	[GPa]	34.08
Coefficiente di Poisson	$\nu$	[-]	0.20

**Tab. 3.1 – Caratteristiche del cls**

Stato Limite Ultimo

La resistenza di progetto risulta data dal valore:  $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$

essendo:  $\alpha_{cc} = 0.85$  per azioni di lunga durata e  $\alpha_{cc} = 1.00$  per azioni di breve durata,  $\gamma_c = 1.5$  è il coefficiente di sicurezza del cls. La resistenza di progetto risulta quindi:

$$f_{cd} = 19.83 \text{ MPa (azioni di lunga durata)}$$

$$f_{cd} = 23.33 \text{ MPa (azioni di breve durata)}$$

Stato Limite di Esercizio per Condizioni Ambientali Molto Aggressive – Tab. 4.1.III NTC, risulta:

SLE Frequente: Apertura delle fessure  $w_d = \leq 0.2 \text{ mm}$

SLE Quasi Permanente: Apertura delle fessure  $w_d = \leq 0.2 \text{ mm}$

SLE Caratteristica (rara):  $f_{cd} \leq 0.6f_{ck}$

Il copriferro minimo risulta (§ C4.1.6.1.3 Circolare 617, tab. C4.1.IV):  $C_{min} = 50 \text{ mm}$

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. CERTIFICAZIONE 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA		Codice:	1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli		Data:	13/06/2018
			Calcolo botte sifone	

### 3.2 Acciaio in barre

Acciaio in barre ad aderenza migliorata: B450C con le seguenti caratteristiche (cfr tab. 3.2)

[ UNI EN 10080 ]			
Grado	B450C		
Parametri di resistenza e deformabilità			
Resistenza caratteristica allo snervamento	$f_{yk}$	[MPa]	450
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk}$	[MPa]	540
Rapporto rottura/snervamento	K	[-]	1.2
Allungamento a rottura	$(A_g)_t$	[%]	≥ 7.5
Modulo elastico	$E_s$	[GPa]	210
Coefficiente di Poisson	$\nu$	[-]	0.33

**Tab. 3.2 – Caratteristiche dell'acciaio di armatura**

Stato Limite Ultimo


La resistenza di progetto risulta data dal valore:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

essendo:  $\gamma_s = 1.15$  è il coefficiente di sicurezza del cls. La resistenza di progetto risulta quindi:

$$f_{yd} = 391.3 \text{ MPa}$$

Per lo stato limite di servizio;

SLE Caratteristica (rara):  $f_{yd} \leq 0.8f_{yk}$

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.R.L. Certificazione 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018
		Calcolo botte sifone

#### 4. PARAMETRI DEL TERRENO

Richiamando quanto indicato nella relazione geotecnica, si considerano i seguenti valori per la determinazione di carichi e vincoli delle strutture.

Moduli di reazione:

Per modulo laterale in argilla:  $k_s = 3800 \text{ kN/m}^3$

Per modulo alla base (si considera la presenza ed il contributo del jet grouting):  $k_s = 35640 \text{ kN/m}^3$

Per i coefficienti di spinta per le argille (per valori caratteristici):

Spinta a riposo:  $K_0 = 0.577$

Spinta attiva:  $K_a = 0.405$


Per i pesi di volume dell'argilla (valori caratteristici) si considerano i valori:

Peso di volume naturale:  $\gamma_n = 17 \text{ kN/m}^3$

Peso di volume immerso:  $\gamma_b = 7.2 \text{ kN/m}^3$

Peso dell'acqua:  $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$



 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001          S.R.L. CERTIFICAZIONE          392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018
		Calcolo botte sifone

## 5. CALCOLI

### 5.1 Modello piano

Le azioni agenti sulla botte a sifone sono state considerate con il valore efficace.

Le azioni verticali sulle strutture derivano sostanzialmente dal peso proprio degli elementi che le sovrastano. In particolare, tra la situazione di breve e lungo periodo (cfr fig. 1.1), si ottengono i seguenti valori (il battente di navigazione si considera impostato a 4.60 m):

Azione	Fondo attuale	Fondo di progetto
Acqua portata (kPa)	56.4	56.4
Peso sull'estradosso (kPa)	24.8	14.7
<b>Totali (kPa)</b>	<b>81.2</b>	<b>71.1</b>

Il cls si considera agente con il proprio peso di volume:  $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Spinta delle terre:

a favore di sicurezza è stato considerato il coefficiente di spinta a riposo riportato nel capitolo precedente. Sulla parete insistono le seguenti spinte orizzontali (a distribuzione triangolare):

Azione	Fondo attuale	Fondo di progetto
Spinta delle acque (kPa)	32.5 – 49.2	32.5 – 49.2
Spinta terre e sovraccarico (kPa)	14.3 – 26.6	8.5 – 20.7

La spinta idraulica risulta:

Alla testa del manufatto ( $z = -1.10 \text{ m}$ ):  $p_w = 56.4 \text{ kPa}$

Alla base del manufatto ( $z = -4.50 \text{ m}$ ):  $p_w = 89.3 \text{ kPa}$

Nei calcoli si trascura la zavorra conseguente alle colonne di jet grouting che da sole equilibrano ed annullano l'azione della sottospinta idraulica per considerare eventuali carenze nella miscela e il conseguente deterioramento nel lungo termine.

L'azione sismica risulta definita dai coefficienti sismici:  $k_h = 0.225$ ,  $k_v = 0.113$  (non si considerano riduzioni conseguenti alla deformabilità dell'opera:  $\beta_m = 1$ ). Per la spinta addizionale sismica si assume cautelativamente il valore di Wood uguale a ( $H = 3.4 \text{ m}$ ):

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018

$$E_{k,h} = \gamma k_h H = 13.0 \text{ kPa}$$

L'azione verticale risulta:  $E_{k,v} = k_v P$  essendo P il peso naturale del terreno imbarcato.

Da cui  $E_{k,v} = 2.5(1.6) \text{ kPa}$ .

Per lo stato limite di esercizio si hanno le seguenti azioni:

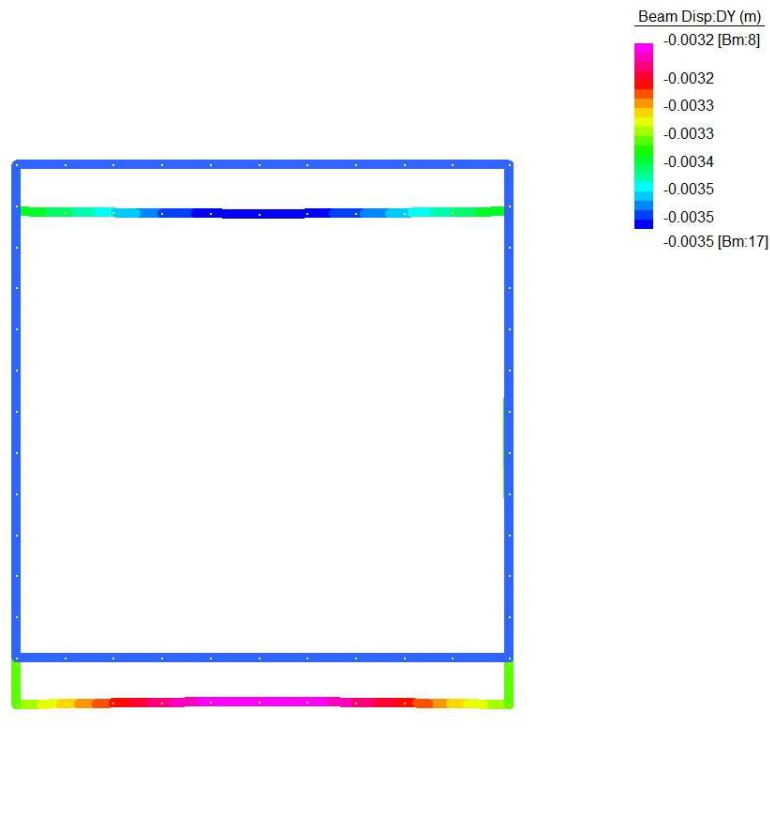

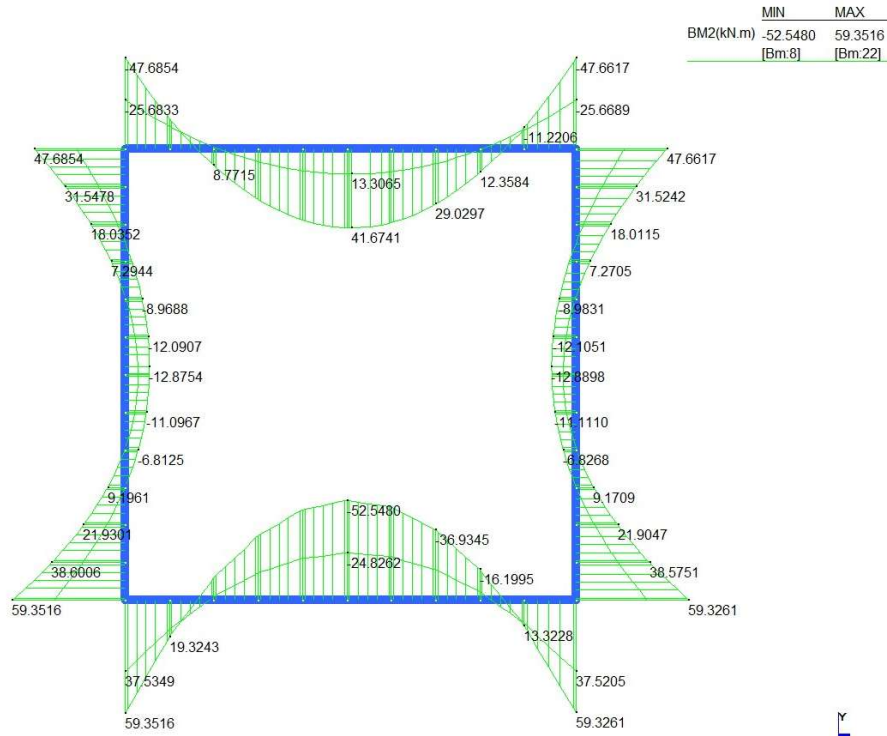


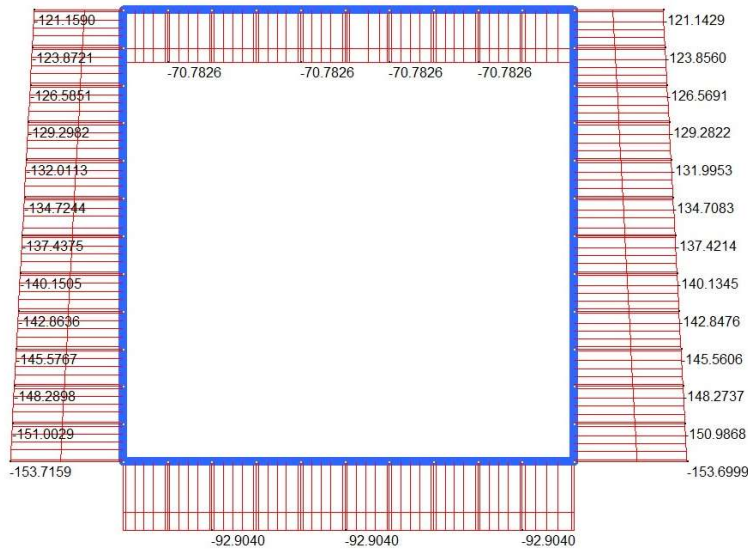
Fig. 5.1a - Spostamenti vettoriali SLE R

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b> Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Codice:	1316-R-7011-E-2
		Data:	13/06/2018
		Calcolo botte sifone	




**Fig. 5.1b – Momento flettente SLE R**

	MIN	MAX
Force(kN)	-153.7159	-52.1308
	[Bm.22]	[Bm.2]



**Fig. 5.1c – Sforzo assiale SLE R**

Le azioni derivanti dagli involucri SLU/EQK sono:

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b> Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Codice:	1316-R-7011-E-2
		Data:	13/06/2018
		Calcolo botte sifone	

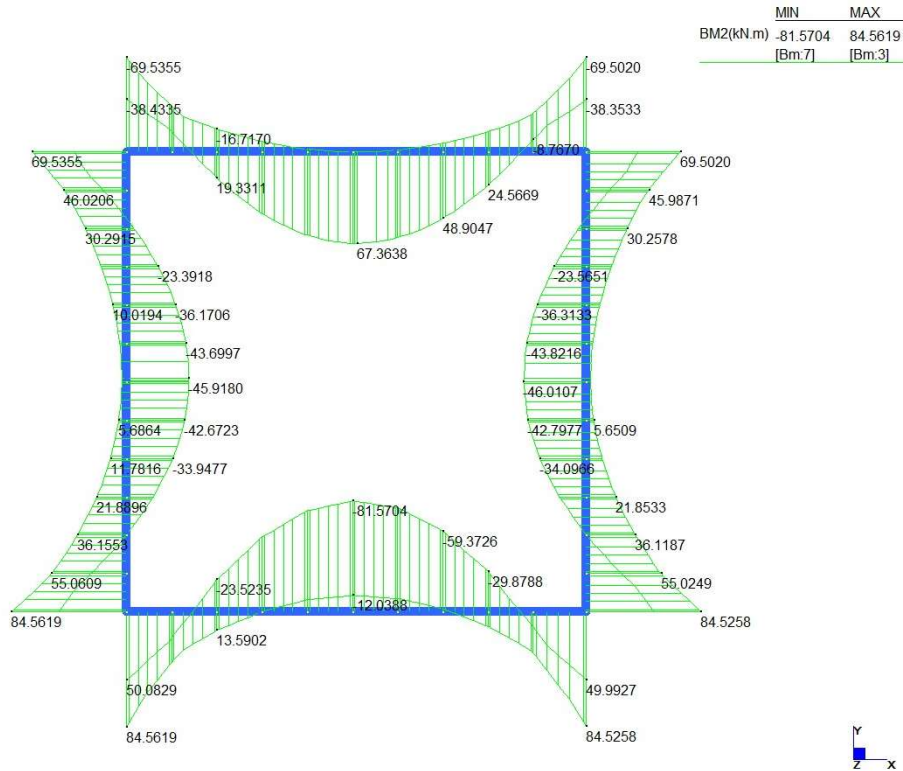


Fig. 5.2a – Momento flettente involucro SLU/EQK

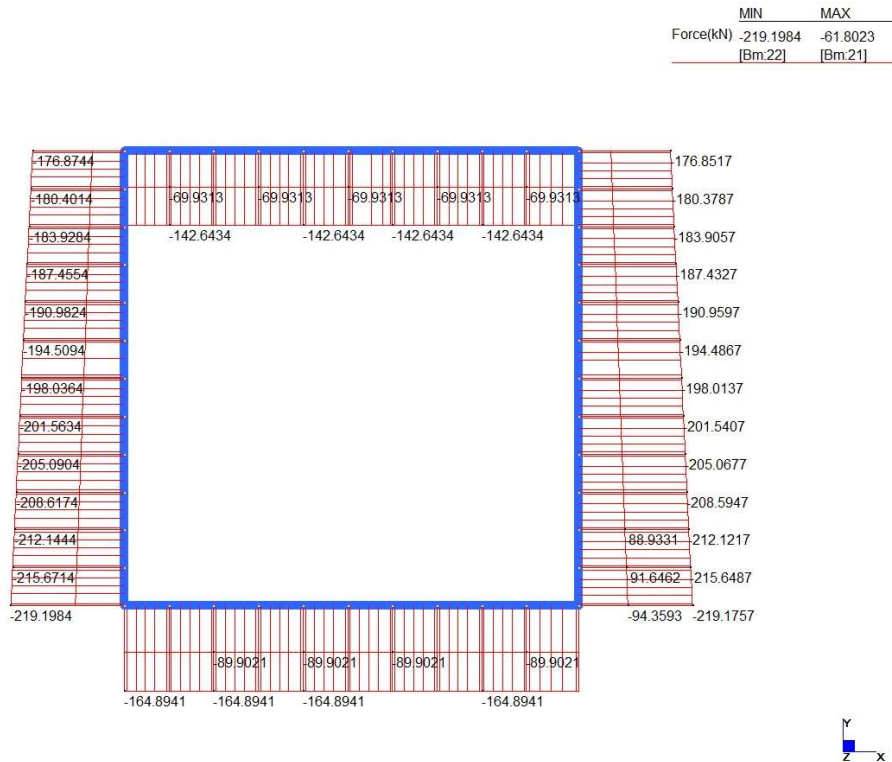

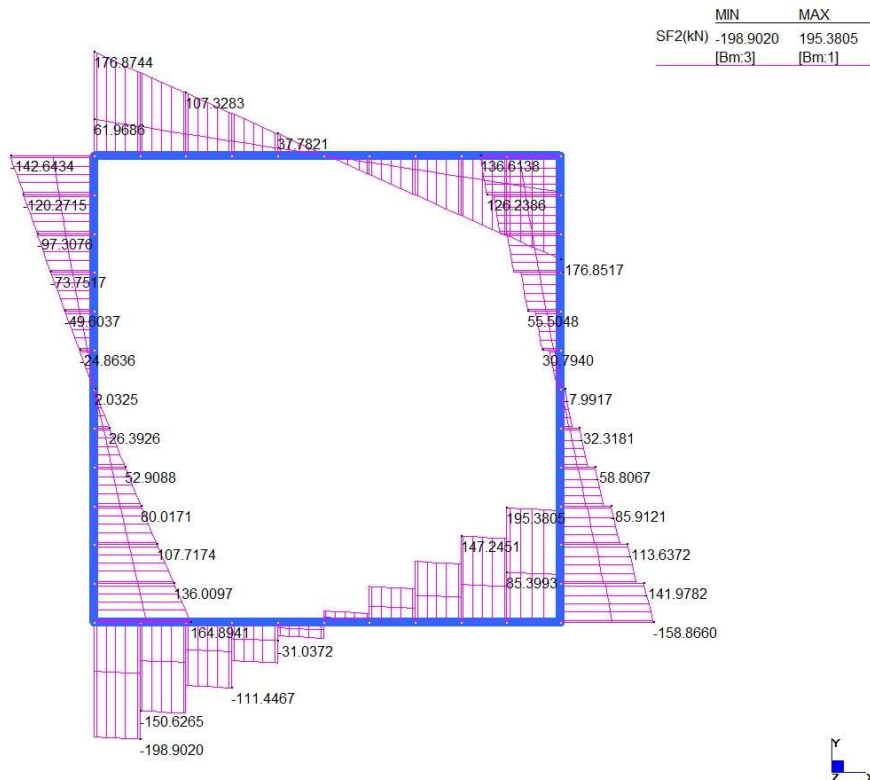


Fig. 5.2b – Sforzo assiale involucro SLU/EQK

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.R.L. Certificazione 392876</small>	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b> Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Codice:	1316-R-7011-E-2
		Data:	13/06/2018
		Calcolo botte sifone	



**Fig. 5.2c – Azione di taglio involuppo SLU/EQK**

Le sezioni sono state armate con 5+5Ø16 che garantiscono un momento resistente di 171 kNm (cfr appendice A per i tabulati di calcolo: N.B. le verifiche sono state fatte con calcestruzzo avente classe di resistenza C32/40 che è stato sostituito con calcestruzzo C35/45 per adeguamento alla classe di esposizione; sono state ritenute le verifiche eseguite implicitamente soddisfatte anche per il calcestruzzo di classe superiore).

Nei riguardi dell'azione tagliante, la sezione di calcestruzzo senza armature trasversali, sulla base di quanto indicato nel § 4.1.2.1.3.1 delle NTC2008 è uguale a:

$$V_{Rcd} = 164 \text{ kN}$$

Per soddisfare la verifica nei bordi dei tratti orizzontali, è prevista un'armatura trasversale composta da una staffa di diametro 14 mm e passo 200 mm, così come indicato nella tavola 1509-S-7010-E, per una resistenza a taglio di:

$$V_{Rsd} = 216 \text{ kN}$$

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.R.L. CERTIFICAZIONE 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018
Calcolo botte sifone		

## 5.2 Verifica UPL

L'azione stabilizzante è data dal peso proprio della struttura (132.75 kN/m), dal peso portato (terreno e acqua nella configurazione di progetto con minore carico = 71.1 kPa x 3.4 m = 241.7 kN/m) e assenza di riempimento e dal peso del magrone uguale a 20 kN/m<sup>3</sup> x 0.15 m x 3.4 m = 10.2 kN/m. Risulta pertanto:  $E_{stb} = 384.7$  kN/m  
 L'azione destabilizzante è data dalla sottospinta idraulica, che risulta:  $E_{dst} = (4.65 + 4.6) \cdot 9.81$  kPa x 3.4 m = 308.5 kN/m.

La verifica al sollevamento risulta dalla disuguaglianza:  $0.9 E_{stb} = 346.2$  kN/m  $\geq$   $1.1 E_{dst} = 339.4$  kN/m.

## 5.3 Verifica longitudinale

La verifica longitudinale della condotta prevede la presenza di un semiincastro ai lati della condotta con una lunghezza di calcolo di 53.10 m sottoposta alla condizione di spinta idrostatica (situazione più gravosa allo SLU). Il carico di progetto ripartito risulta dal seguente prospetto:

	$f_k$ (kPa)	$F_k$ (kN/m)	$\gamma_k$ (-)	$F_d$ (kN/m)
Verso il basso				
Peso proprio	--	132.75	1.0	132.8
Terreno imbarcato	14.7	49.98	1.0	84.3
Peso acqua	56.4	191.76	1.0	191.8
			TOTALE	408.9
Verso l'alto				
Sottospinta	89.30	303.62	1.3	394.7
			TOTALE	394.7
			RISULTANTE	14.2


Allo SLE i carichi verticali verso il basso sono risultano di 81.2 kN/m e nella configurazione di trave su suolo liquido non comportano sollecitazioni significative.

Allo SLU risulta:

Il momento di progetto:  $M_{Ed} = 14.2$  kN/m x (53.10 m)<sup>2</sup> / 12 = 3336 kNm

Il taglio di progetto:  $V_{Ed} = 14.2$  kN/m x 53.10 m / 2 = 377 kN

Considerando la sezione della condotta è possibile verificare il momento resistente in via cautelativa e semplificata mediante l'espressione:  $M_{Rd} = A_s f_{yd} 0.9 d$

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.R.L. CERTIFICATA 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA		Codice:	1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli		Data:	13/06/2018
				Calcolo botte sifone

Considerando l'armatura longitudinale composta da 1Ø16/20cm nella lastra superiore sono presenti 17+17Ø16 per una sezione complessiva di 6836 mm<sup>2</sup>, l'altezza utile risulta 3175 mm e la resistenza di progetto  $f_{yd} = 391.3$  MPa pertanto il momento resistente risulta:  $M_{Rd} = 7643.7$  kNm  $>$   $M_{Ed}$

Il taglio di progetto in assenza di armatura deve risultare superiore al valore:  $V_{Rd} = v_{min} B_w d$  che, considerate le due sole pareti verticali, determina il valore ( $v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0.277$  MPa,  $B_w = 900$  mm,  $d = 3175$  mm):  $V_{Rd} = 791.6$  kN  $>$   $V_{Ed}$ .

Per la verifica delle condotte verticali della botte si fa riferimento ad una sezione a mensola sottoposta al carico della spinta attiva delle terre (si considera tale effetto in condizioni piane trascurando gli effetti riduttivi tridimensionali) e della spinta idrostatica in condizioni di rapido svasso, in assenza di azioni resistenti in opposizione al carico agente nella parte oltre il livello di fondo dello sbocco. L'altezza della mensola è di 9.35 m ed il battente idraulico di 5.7 m.

Il calcolo delle azioni sollecitanti SLU ed EQK viene riportato nel prospetto sottostante:

z	$\sigma_t$	u	$\sigma'_v$	$\sigma'_h$	$\sigma'_h + u$	F <sub>H/B</sub>	$\sigma_{eqk}$	B	y <sub>h</sub>	y <sub>h,eqk}</sub>	F <sub>Hstr</sub>	F <sub>Heqk</sub>	M <sub>str</sub>	M <sub>eqk</sub>
[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[KN/m]	[kPa]	[m]	[m]	[m]	[KN]	[KN]	[KNm]	[KNm]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.03	37.91	1.90	7.78	7.81	66.6	223.3	517.8	1743.8
3.10	55.80	0.00	55.80	22.60	22.60									
3.10	55.80	0.00	55.80	22.60	22.60	13.85	37.91	1.90	5.97	5.99	47.1	70.9	281.2	424.6
3.65	65.70	1.96	63.74	25.81	27.78									
3.65	65.70	1.96	63.74	25.81	27.78	92.87	37.91	3.40	4.47	4.61	315.7	283.6	1411.4	1307.2
5.85	105.30	23.53	81.77	33.12	56.65									
5.85	105.30	23.53	81.77	33.12	56.65	279.69	37.91	3.40	1.58	1.76	950.9	452.4	1502.5	793.9
9.36	168.48	57.95	110.53	44.76	102.72									
											<b>1380.34</b>	<b>1030.1</b>	<b>3712.9</b>	<b>4269.5</b>

I momenti flettenti risultano:


**M<sub>str</sub>=3712.9 KNm**

**M<sub>eqk</sub>= 4269.5 KNm**

La massima sollecitazione flettente,  $M_{Ed} = 4269.5$  kNm risulta sensibilmente inferiore alla resistenza di calcolo della sezione ( $M_{Rd} = 7643.7$  kNm).



Il taglio resistente in presenza di armatura risulta, considerando le armature perpendicolari allo sviluppo (2 bracci Ø16/200 mm,  $d = 3850$  mm):  $V_{Rd} = 0.9 d A_{sw}/s f_{yd} = 2708$  kN  $>$   $V_{Ed} = 1380.34$  kN.

Per la condizione SLE si considera che, in corrispondenza di uno stato tensionale dell'armatura  $\sigma_s = 155$  MPa, il momento risulta:  $M_{Rd,sle} = 0.9 d A_s \sigma_s = 4103$  kNm, valore già prossimo ai valori allo SLU ed EQK definiti precedentemente. Si omettono quindi le verifiche relative.

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA		Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli		Data: 13/06/2018
			Calcolo botte sifone

## APPENDICE A: VERIFICA SEZIONI IN CLS



 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it 	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>	Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 13/06/2018
		Calcolo botte sifone

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: 1316 t45**

**(Percorso File: \\srv-pc\LAVORI IN CORSO\1316\_Bottesifone (PROFE)\Lavoro MCE\calcoli\1316\_t45.sez)**

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Tipologia sezione: Sezione predefinita  
 Forma della sezione: Rettangolare  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
 Riferimento alla sismicit : Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

**CONGLOMERATO - Classe: C 32/40**  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 213.33 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd': 106.67 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 330000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione fctm: 30.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0  
 Combinazioni Rare in Esercizio  
 Sc Limite : 160.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : 99999.000 mm

**ACCIAIO - Tipo: B450C**  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd: 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068  
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Coeff. Aderenza ist. β1\*β2 : 1.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza diff. β1\*β2 : 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base: 100.0 cm  
 Altezza: 45.0 cm  
 Barre inferiori : 5Ø16 (10.1 cm<sup>2</sup>)  
 Barre superiori : 5Ø16 (10.1 cm<sup>2</sup>)  
 Copriferro barre inf. (dal baric. barre) : 5.8 cm  
 Copriferro barre sup. (dal baric. barre) : 5.8 cm

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione  
 Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

N.Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	9200	8456	10	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**


N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N.Comb.	N	Mx
1	9200	5932

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.5 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 4.2 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) <b>MC Engineering Srl</b> Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 SIC Certificazione 392876</small>	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b> Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Codice:	1316-R-7011-E-2
		Data:	13/06/2018
		Calcolo botte sifone	

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue  
 Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 10.1 cm<sup>2</sup>  
 Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 10.1 cm<sup>2</sup>

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d	C.Rid.
1	S	9200	8456	9197	17638	2.086	40.7		

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
 Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0.00350	-0.01228	45.0	-0.00125	39.2	-0.02858	5.8

#### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe: 8 mm  
 Passo staffe: 13.3 cm [Passo massimo di normativa = 19.2]  
 N.Bracci staffe: 4  
 Area staffe/m : 15.1 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima normativa = 2.9]

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
 Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
 Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe  
 Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato  
 Vwd Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 bw Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Afst Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	10	18622	131008	52174	100.0	21.80	1.010	0.0


#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>) in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 Af eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>) ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
1	S	17.7	45.0	-13.9	45.0	-147	39.2	0.0	0	0.0	0.0

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 ScI max Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm<sup>2</sup>)  
 ScI\_min Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm<sup>2</sup>)  
 Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm<sup>2</sup>)  
 K3 Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)  
 Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1\*Beta2

 <b>MC Engineering Srl</b> Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 S.C. Certificazione 392876</small>	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>		Codice: 1316-R-7011-E-2
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli		Data: 13/06/2018
			Calcolo botte sifone

Eps Deformazione unitaria media tra le fessure  
 Srm Distanza media in mm tra le fessure  
 Ap.fess. Apertura delle fessure in mm = 1,7\*Eps\*Srm

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	s	0.0	0.0	0.0		0.0	0.000000	0	0.000