

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

IDROVIA FERRARESE - 1° LOTTO 1° STRALCIO / PARTE  
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE BOTTE SIFONE DEL CANALE BIANCO  
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:

MC Engineering Srl



SOCIETA' DI INGEGNERIA  
Via Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (BO)  
Tel. +39 051 4211945 Fax +39 051 4213490  
E-mail 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 5 0 9 R 7 0 1 1 E 1

Data	14/04/2017	Archivio	1509_R_7011_E_1.pdf	Scala		
01	14/04/2017	Aggiornamento a seguito istruttoria tecnica del 05/04/2017		MC	MC	MC
00	30/09/2016	Emissione		SS	MC	MC
Rev.	Data	Oggetto		Redatto	Controllato	Approvato

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		

## INDICE

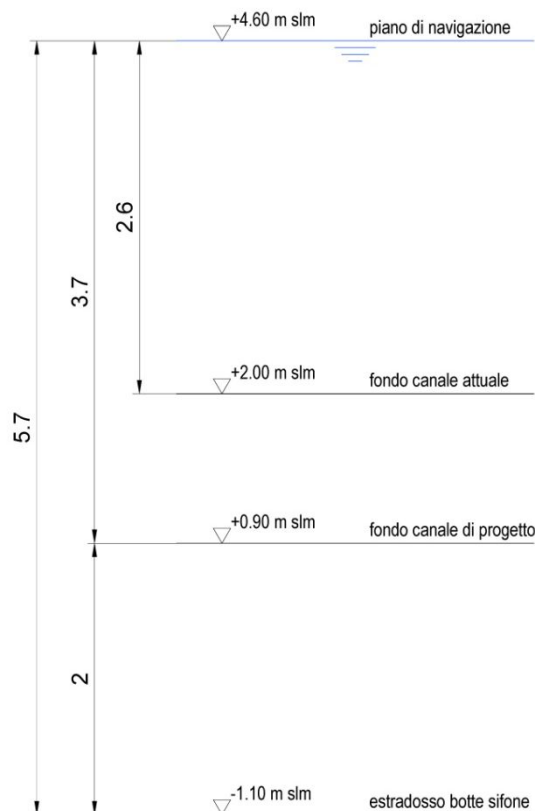
1.	INTRODUZIONE .....	2
1.1	SOVRACCARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	2
1.2	IL MODELLO DI CALCOLO .....	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3.	MATERIALI .....	5
3.1	CLS PER GETTI IN OPERA .....	5
3.2	ACCIAIO IN BARRE .....	6
4.	PARAMETRI DEL TERRENO .....	7
5.	CALCOLI .....	8
5.1	MODELLO PIANO .....	8
5.2	VERIFICA UPL .....	12
5.3	VERIFICA LONGITUDINALE .....	13
	APPENDICE A: VERIFICA SEZIONI IN CLS .....	16

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1509-R-7011-E-1
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 14/04/2017  Relazione di calcolo botte sifone

## 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 3000x3000 mm e spessore della pareti di 550 mm conseguente alla necessità di bilanciare la sottospinta idraulica.


La lunghezza della condotta è di 50.20 m e gli element verticali di imbocco e sbocco si sviluppano per una altezza di circa 13 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.

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	

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.

## 1.2 Il modello di calcolo

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.


Il calcolo viene affrontato in regime di deformazione piana sulla sola sezione per le sollecitazioni trasversali alla condotta.

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).

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		

## 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

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		Relazione di 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	$f_{ctf}$	[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:

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

$f_{cd} = 23.33$  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  $w_d \leq 0.2$  mm

SLE Quasi Permanente: Apertura delle fessure  $w_d \leq 0.2$  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):  $C_{min} = 50$  mm

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di 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	$(A_g)_t$	[%]	$\geq 7.5$
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:  $\gamma_s = 1.15$  il coefficiente di sicurezza del cls. La resistenza di progetto risulta quindi:  $f_{yd} = 391.3$  MPa

Per lo stato limite di servizio;

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

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1509-R-7011-E-1
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 14/04/2017  Relazione di 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:  $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$



MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	

## 5. CALCOLI

### 5.1 Modello piano

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
Terreno imbarcato immerso (kPa)	22.6	14.7
<b>Totali (kPa)</b>	<b>79.0</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 – 52.6	32.5 – 52.6
Spinta terre e sovraccarico (kPa)	13.1 – 27.8	8.5 – 23.2

La spinta idraulica risulta:

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

Alla base del manufatto ( $z = -5.20 \text{ m}$ ):  $p_w = 96.12 \text{ kPa}$

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 ( $H = 4.1 \text{ m}$ ):

$$E_{k,h} = \gamma k_h H = 16.6 \text{ kPa}$$

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		

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

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

Nei riguardi della combinazione allo stato limite di esercizio si hanno le azioni riportate di seguito:

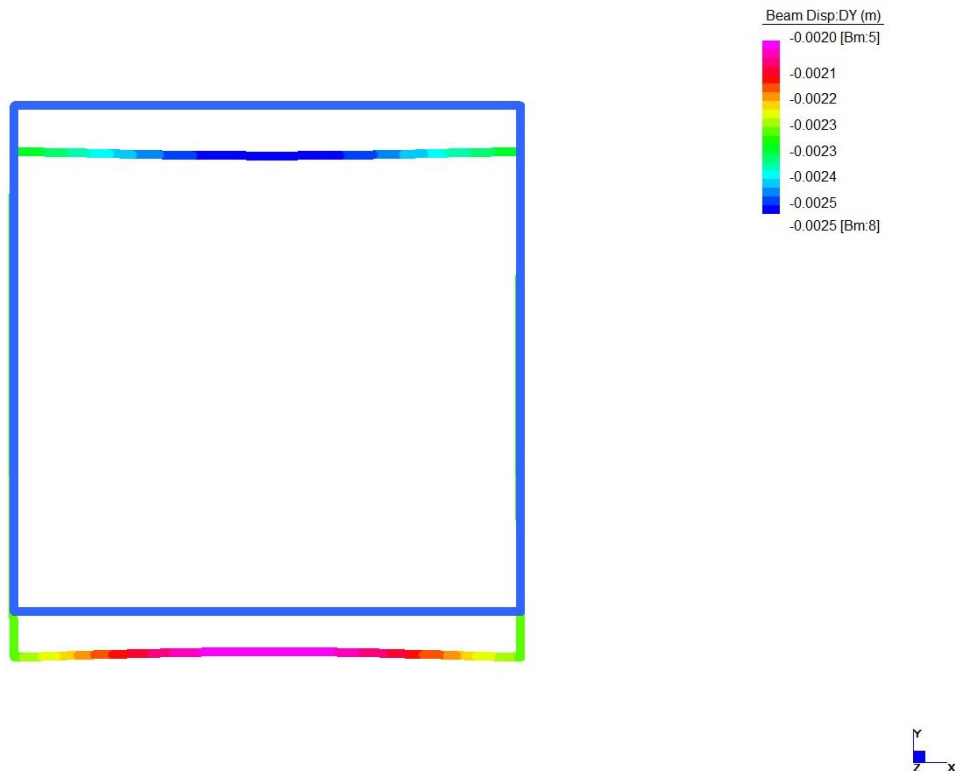
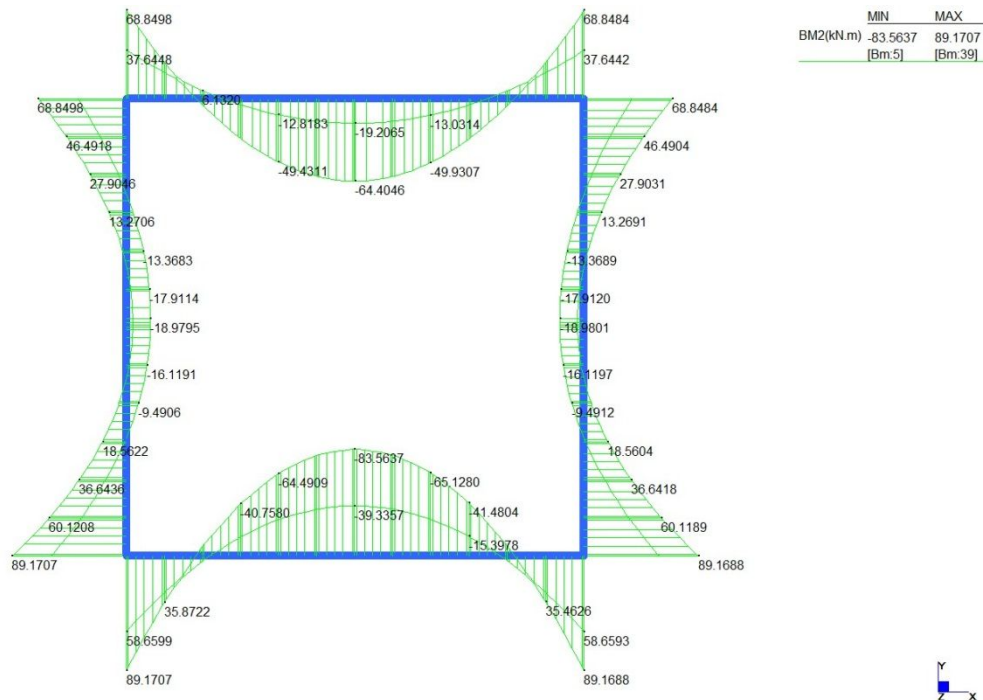
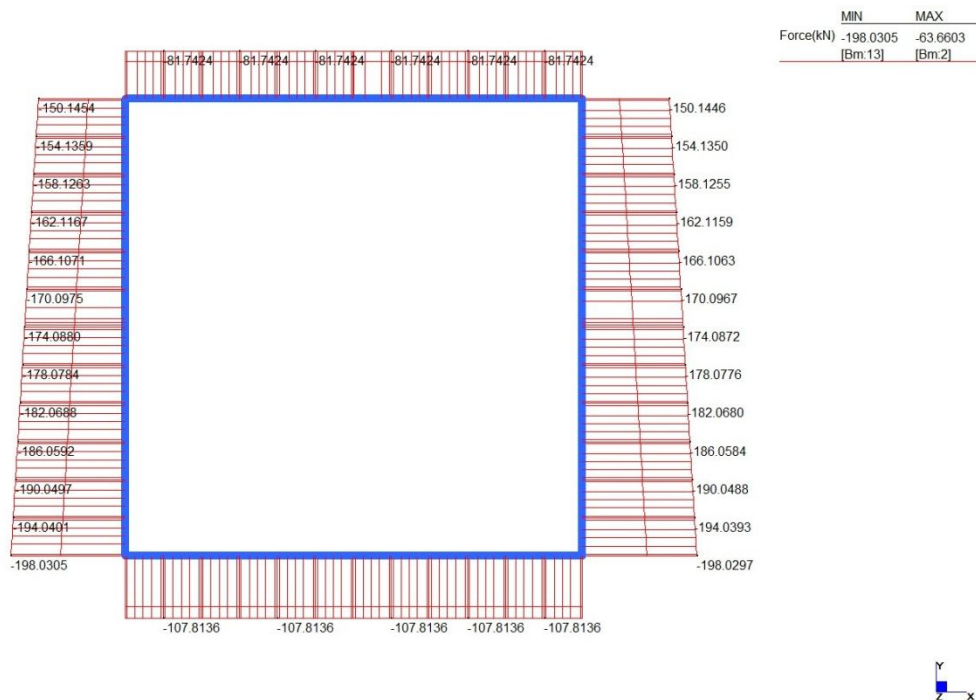


Fig. 5.1a - Spostamenti vettoriali SLE R


<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification) 392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	



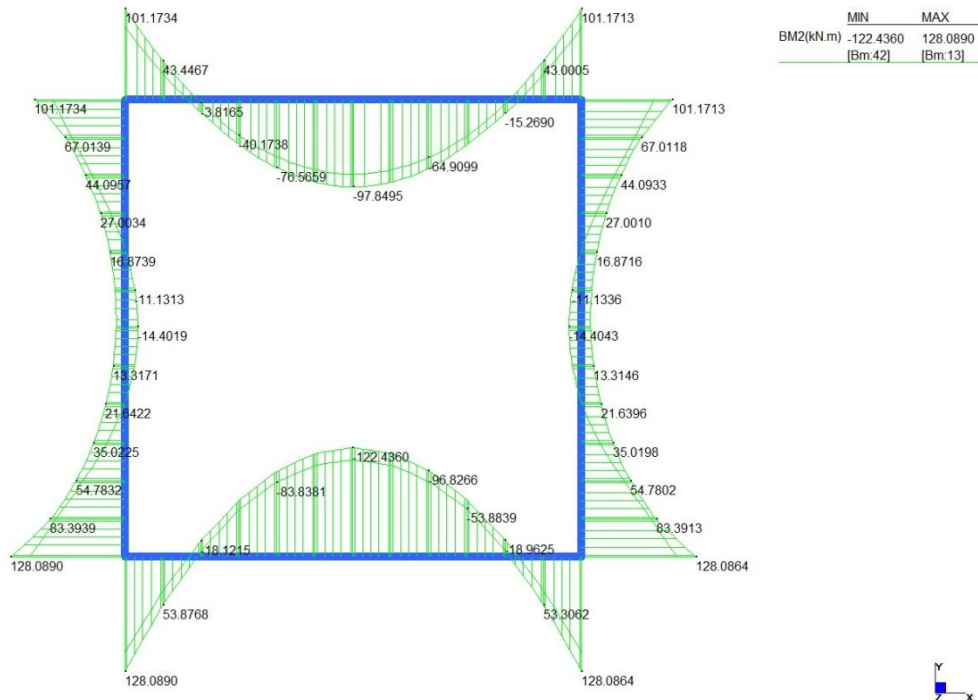
**Fig. 5.1b – Momento flettente SLE R**



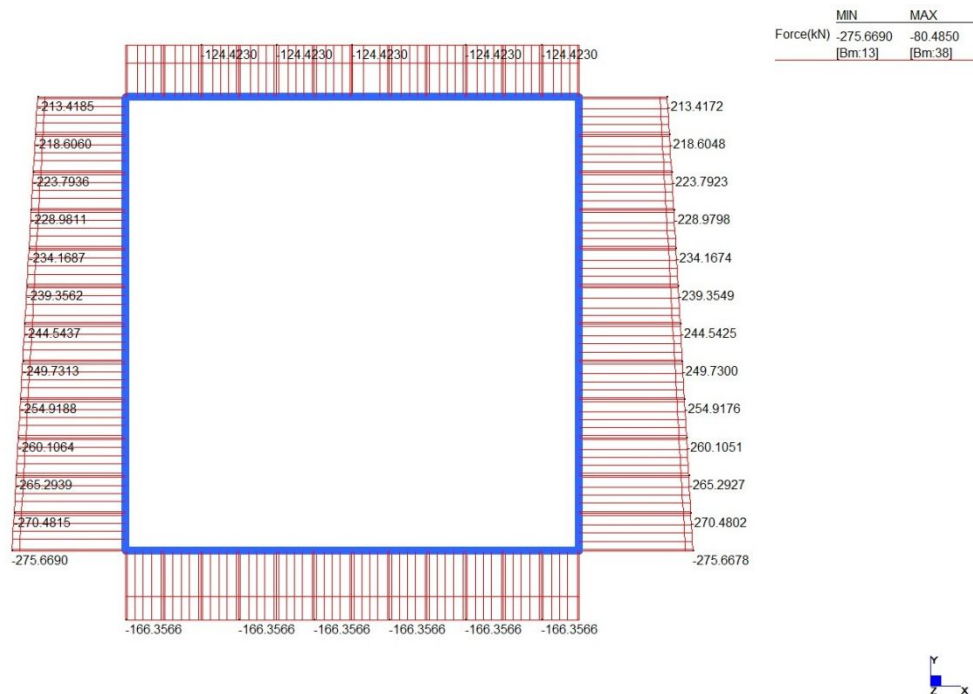
**Fig. 5.1c – Sforzo assiale SLE R**

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	

Per gli involuپی SLU/EQK:

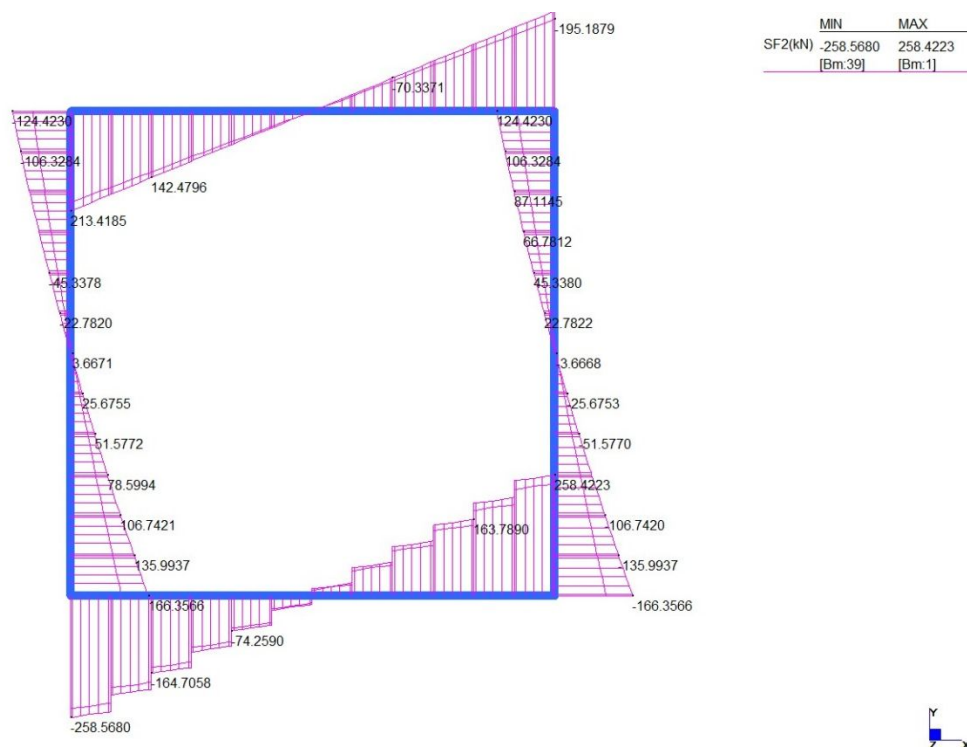


**Fig. 5.2a – Momento flettente involucro SLU/EQK**



**Fig. 5.2b – Sforzo assiale involucro SLU/EQK**

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1509-R-7011-E-1 Data: 14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di 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 219.8 kNm (cfr appendice A per i tabulati di calcolo).

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:


$$V_{Rcd} = 182 \text{ kN}$$

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:

$$V_{Rsd} = 271 \text{ kN}$$

## 5.2 Verifica UPL

L'azione stabilizzante è data dal peso proprio della struttura (195.25 kN/m), dal peso portato (terreno e acqua nella configurazione di progetto con minore carico = 71.1 kPa x 4.1 m = 291.5 kN/m) e assenza di riempimento e dal peso del magrone uguale a 20 kN/m³ x 0.15 m x 4.1 m = 12.3 kNm. Risulta pertanto:

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		Relazione di calcolo botte sifone

$$E_{stb} = 499.05 \text{ kN/m}$$

L'azione destabilizzante è data dalla sottospinta idraulica, che risulta:

$$E_{dst} = 96.12 \text{ kPa} \times 4.1 \text{ m} = 394.1 \text{ kN/m.}$$

La verifica al sollevamento risulta dalla disequaglianza:

$$0.9 E_{stb} = 449.1 \text{ kN/m} \geq 1.1 E_{dst} = 433.51 \text{ kN/m.}$$

### 5.3 Verifica STR longitudinale della botte

La verifica longitudinale della condotta prevede la presenza di un semiincastro ai lati della condotta con una lunghezza di calcolo di 46.10 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	--	195.25	1.0	195.2
Terreno imbarcato	14.7	60.27	1.0	60.3
Peso acqua	56.4	231.24	1.0	231.4
		TOTALE		486.8
Verso l'alto				
Sottospinta	96.12	394.09	1.3	512.3
		TOTALE		512.3
		RISULTANTE		25.50


Allo SLE i carichi verticali verso il basso risultano di 92.7 kN/m e nella configurazione di trave su suolo liquido non comportano sollecitazioni significative.

Allo SLU risulta:

Il momento di progetto:  $M_{Ed} = 25.5 \text{ kN/m} \times (46.10 \text{ m})^2 / 10 = 5419.3 \text{ kNm}$

Il taglio di progetto:  $V_{Ed} = 25.5 \text{ kN/m} \times 46.10 \text{ m} / 2 = 587.8 \text{ kN}$

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

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1509-R-7011-E-1 Data: 14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone

Considerando l'armatura longitudinale composta da 1+1Ø16/20cm nella lastra superiore sono presenti 19+19Ø16 per una sezione complessiva di 7640 mm<sup>2</sup>, l'altezza utile risulta 3825 mm e la resistenza di progetto  $f_{yd} = 391.3$  MPa pertanto il momento resistente risulta:

$$M_{Rd} = 10292 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

Il taglio di progetto in assenza di armatura deve risultare superiore al valore, in una sezione scatolare:

$V_{Rd} = v_{min} 2 B_w d$  che determina il valore ( $v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0.253$  MPa,  $B_w = 550$  mm,  $d = 3825$  mm):

$$V_{Rd} = 1064.5 \text{ kN} > V_{Ed}$$


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 svaso, 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 9.06 m ed il battente idraulico di 5.70 m, il fondo alveo è posto a 1.7 m dall'incastro.

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

z	σ <sub>v</sub>	σ <sub>h</sub>	u	σ <sub>h</sub> + u	F <sub>h</sub>	F <sub>eqk</sub>	B	y <sub>h</sub>	Y <sub>h,eqk</sub>	H <sub>str</sub>	M <sub>str</sub>	H <sub>eqk</sub>	M <sub>eqk</sub>
(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN/m)	(kN/m)	(m)	(m)	(m)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.99	36.69	1.75	6.82	7.38	54.58	372.22	106.20	760.22
3.36	57.12	14.28	0.00	14.28									
3.36	65.36	16.34	0.00	16.34	5.43	36.69	1.75	5.55	5.56	12.36	68.58	73.72	409.45
3.65	73.13	18.28	2.84	21.13									
3.65	73.13	18.28	2.84	21.13	200.30	36.69	4.10	3.13	3.51	1067.6	3336.5	971.69	3093.8
7.46	175.26	43.82	40.20	84.02									
7.46	175.26		40.20	40.20	165.89		4.10	0.80		884.18	707.36	680.14	544.12
9.06	218.15		40.20	40.20									
										2018.7	4484.7	1831.7	4807.6


La massima sollecitazione flettente,  $M_{Ed} = 4808$  kNm risulta sensibilmente inferiore alla resistenza di calcolo della sezione ( $M_{Rd} = 10292$  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  $> V_{Ed} = 2019$ .

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1509-R-7011-E-1
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Data: 14/04/2017  Relazione di calcolo botte sifone

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.



MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	

## APPENDICE A: VERIFICA SEZIONI IN CLS

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

##### NOME SEZIONE: 1509 verifica sezione

(Percorso File: \\srv-pc\LAVORI IN CORSO\1509\_Bottesifone  
Bianco (PROFE) \LAVORO\RELAZIONI\CALCOLI\RC-SEC\1509 verifica sezione.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'inertzia  
Riferimento alla sismicità: 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: 55.0 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) : 7.4 cm  
Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 7.4 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	8174	12809	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

MC Engineering Srl Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)  392876	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione di calcolo botte sifone	

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N.Comb.	N	Mx
1	8174	8917

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.6 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.7 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.8 cm

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

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 $\geq 1.000$		
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	8174	12809	8145	21968	1.715	50.1		

#### 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	-0.01345	55.0	-0.00182	47.6	-0.03073	7.4

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

Diametro staffe:	8 mm	
Passo staffe:	19.1 cm	[Passo massimo di normativa = 19.2]
N.Bracci staffe:	4	
Area staffe/m :	10.5 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	21003	158669	44116	100.0	21.80	1.007	0.0

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b></div> <div>LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-7011-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		Relazione di calcolo botte sifone

#### 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/cm²]										
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/cm²]										
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/cm²]									
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. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)									
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] 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	55.0	-14.8	55.0	-157	47.6	0.0	0	0.0
---	---	------	------	-------	------	------	------	-----	---	-----

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
ScImax	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								
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	