

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N.443/01**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

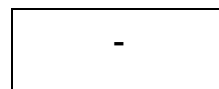
**LINEA PESCARA – BARI**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA**

Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche

TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00

SCALA:



Relazione di calcolo muri d'ala

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

L I 0 2    0 2    D    7 8    C L    I N 0 0 0 0    0 0 6    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	E.Abbasciano	Novembre 2018	A. Iorio	Novembre 2018	B.M.Bianchi	Novembre 2018	D. Tiberti
B	EMISSIONE DEFINITIVA	E.Abbasciano	Maggio 2019	R.Oscurato	Maggio 2019	B.M.Bianchi	Maggio 2019	Maggio 2019

ITALFERR S.p.A.  
gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Generale  
UO Infrastrutture Sud  
Dott. Ing. Donato Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10578

File: LI0202D78CLIN0000006A.docx

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3	MATERIALI .....	7
3.1	CALCESTRUZZO .....	7
3.2	ACCIAIO B450C .....	7
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	11
4.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO .....	11
4.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA .....	11
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	13
5.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO .....	13
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	13
6	SOFTWARE DI CALCOLO .....	18
6.1	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO ADOTTATI .....	18
6.2	UNITÀ DI MISURA .....	18
6.3	GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE .....	18
6.4	VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZZA DEL MODELLO .....	18
6.5	CARATTERISTICHE DELL'ELABORAZIONE .....	19
6.6	GIUDIZIO FINALE SULLA ACCETTABILITÀ DEI CALCOLI .....	19
6.7	PROGRAMMI DI SERVIZIO .....	19
7	MURO D'ALA .....	20

9	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....	28
10	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	31
10.1	VERIFICA SOLETTA INFERIORE.....	31
10.2	VERIFICA PIEDRITTI.....	36

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

## 1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del corpo stradale ferroviario, delle opere d'arte e delle opere interferite relative al Raddoppio della linea Termoli-Lesina, tratta Termoli - Ripalta.

Il tombino si rende necessario per garantire la continuità idraulica fra le aree a nord e a sud del nuovo tracciato ferroviario.

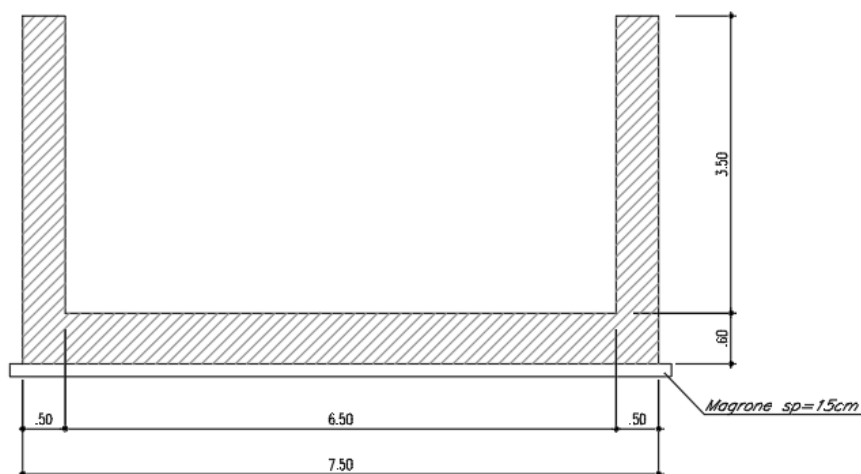
L'opera consiste in muri d'ala, aventi sezione ad U in c.a. gettato in opera, all'imbocco del tombino tipologico C"2 TOMBINI 3,00X3,00 AFFIANCATI":

TOMBINO	pk
IN70	14+500
IN71	14+600

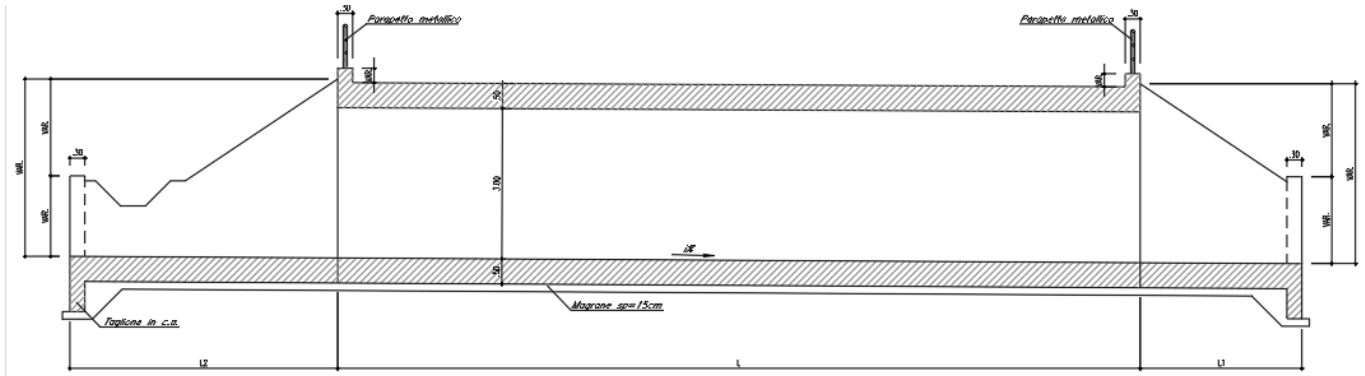
La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 6.50$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 3.50$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.60$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.50$  m.

Nell'immagine seguente si riporta una longitudinale dell'opera.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.



**Fig. 1** –Sezione trasversale



**Fig. 2** –Sezione longitudinale

	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B	FOGLIO 6 di 40

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- [N.1]. L. n. 64 del 2/2/1974“Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- [N.2]. L. n. 1086 del 5/11/1971“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- [N.3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- [N.4]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- [N.5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea.
- [N.6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [N.7]. RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.8]. RFI DTC SI SP IFS 001 C– Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [N.9]. CNR-DT207/2008 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- [N.10]. UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

### 3 MATERIALI

Il calcestruzzo adottato corrisponde alla Classe C32/40, mentre l'acciaio in barre ad aderenza migliorata corrisponde alla classe B450C. Di seguito vengono elencate le specifiche.

#### 3.1 Calcestruzzo

Per le strutture in elevazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XS1, XA1

**C32/40:**  $f_{ck} \geq 32$  MPa  $R_{ck} \geq 40$  MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,20	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,20	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22,13	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18,81	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	3,10	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,45	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm <sup>2</sup>

#### 3.2 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450$  MPa;

Tensione di progetto:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$

in cui  $\gamma_m = 1.15$   $f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3$  MPa;

 <p><b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA PESCARA – BARI</b>  <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b>  Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA  Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche  <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LI02</td> <td>02 D 78</td> <td>CL</td> <td>IN000 006</td> <td>B</td> <td>8 di 40</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	8 di 40
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	8 di 40								

Modulo Elastico

$E_s = 210'000 \text{ MPa}$ .

### 3.3 Verifica S.L.E.

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato

#### 3.3.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "RFI DTC SI MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili", ovvero:

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$

Per il caso in esame risulta in particolare :

#### CALCESTRUZZO

$\sigma_{\text{max QP}} = (0,40 f_{ck}) = \mathbf{13.28} \text{ MPa}$  (Combinazione di Carico Quasi Permanente)



 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

$$\sigma_{\max R} = (0,55 f_{cK}) = \mathbf{18.26} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

## ACCIAIO

$$\sigma_{s \max} = (0,75 f_{yK}) = \mathbf{338} \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

### 3.3.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

**Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali**

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>LI02</td> <td>02 D 78</td> <td>CL</td> <td>IN000 006</td> <td>B</td> <td>10 di 40</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	10 di 40
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	10 di 40								

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “*Manuale di Progettazione delle Opere Civili*” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame (XS1) così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

– Combinazione Caratteristica (Rara)  $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del DM 14.1.2008, in accordo a quanto previsto al punto ” C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione” della Circolare n.617/09.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 4.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

### 4.2 Interazione terreno-struttura

Per i parametri geologico-geotecnicici si fa riferimento ad:

Unità ba3 – Argille limose (Alluvioni attuali e recenti)

$g = 18\div 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5\div 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\Phi' = 20\div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 40\div 175 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$N_{spt} = 2\div 30$	numero di colpi da prova SPT
$V_s = 70\div 250 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 10\div 120 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 25\div 320 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 10^{-8}\div 10^{-6} \text{ m/s}$	permeabilità

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo (formula di Vesic)

$$k = \frac{0.65 E}{1 - \nu^2} * \sqrt[12]{\frac{E b^4}{(E_c J)_{fond}}}$$

dove:

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	12 di 40

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inierzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

$$E = 100000 \text{ kN/m}^2$$

$$n = 0.3$$

$$B = 7.5 \text{ m}$$

$$L = 20.00 \text{ m}$$

$$L/B = 2.67$$

$$c_t = 1.38$$

$$K_w = 10642 \text{ kN/m}^3$$

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa  $10000 \text{ kN/m}^3$ .

	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B	FOGLIO 13 di 40

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 14gennaio 2008.

### 5.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale (VN), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso (CU)

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $VN = 75$  anni (categoria 2: "Altre opere nuove a velocità  $V < 250$  Km/h"). Riguardo invece la Classe d'Uso, all' opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_u = 1.5$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni

### 5.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 14-01-2008, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo **C**

In accordo a quanto riportato nelle Norme Tecniche per le costruzioni, si ottiene per il sito in esame:

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 14.01.08, si ottiene per il sito in esame:

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

---

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

---

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

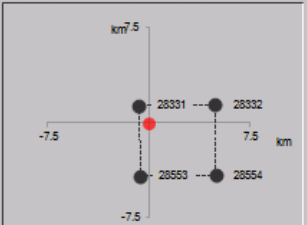
---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri |>

---

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo


Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$

info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$

info

---

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$

info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$

info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

---

**Elaborazioni**

Grafici parametri azione |>

Grafici spettri di risposta |>

Tabella parametrizzazione |>

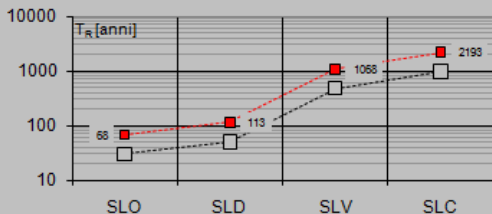
---

**LEGENDA GRAFICO**

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

**Strategia di progettazione**



I valori delle caratteristiche sismiche ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per gli stati limite di normativa sono dunque:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0.074	2.499	0.307
SLD	113	0.094	2.523	0.319
SLV	1068	0.242	2.452	0.346
SLC	2193	0.315	2.440	0.354

$a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^* \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$S \rightarrow$  coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	16 di 40

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.242 g
$F_n$	2.452
$T_C$	0.346 s
$S_S$	1.345
$C_C$	1.491
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.345
$\eta$	1.000
$T_R$	0.172 s
$T_C$	0.515 s
$T_D$	2.567 s

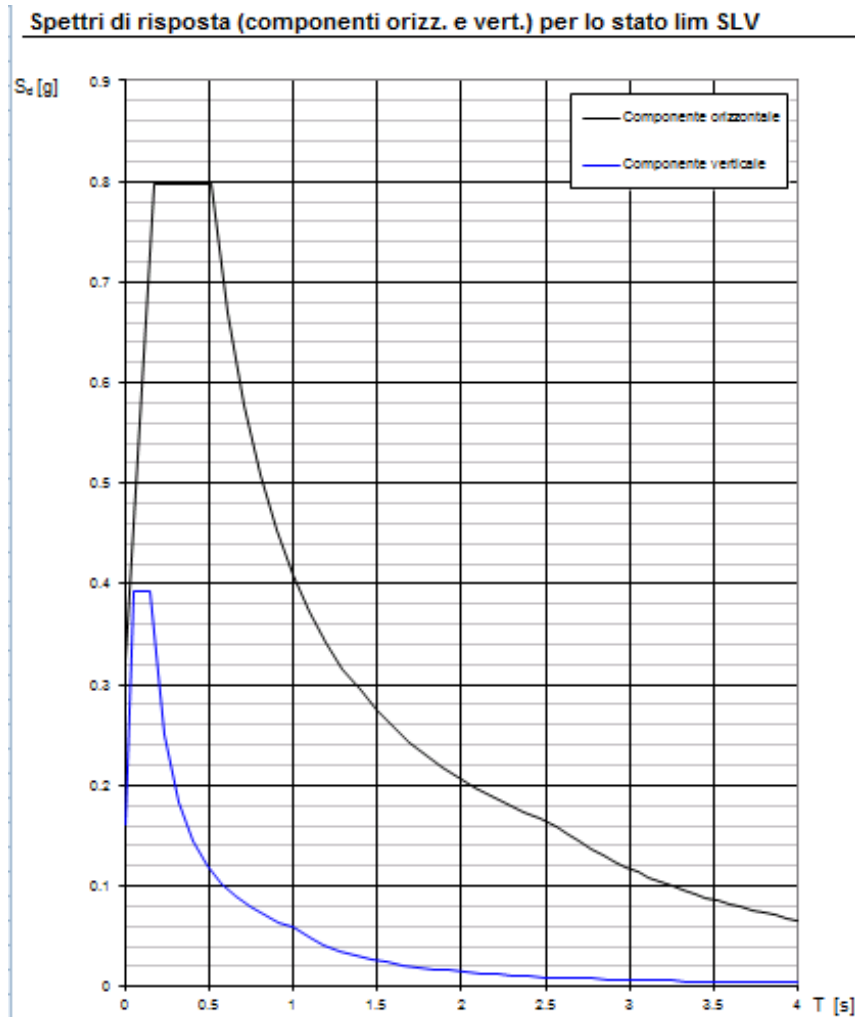
**Espressioni dei parametri dipendenti**

(NTC-08 Eq. 3.2.5)
(NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)
(NTC-07 Eq. 3.2.8)
(NTC-07 Eq. 3.2.7)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.325
$T_B$	0.172	0.797
$T_C$	0.515	0.797
	0.613	0.670
	0.711	0.578
	0.808	0.508
	0.906	0.453
	1.004	0.409
	1.101	0.373
	1.199	0.342
	1.297	0.316
	1.394	0.294
	1.492	0.275
	1.590	0.258
	1.687	0.243
	1.785	0.230
	1.883	0.218
	1.980	0.207
	2.078	0.197
	2.176	0.189
	2.274	0.181
	2.371	0.173
	2.469	0.166
$T_D$	2.567	0.160
	2.635	0.152
	2.703	0.144
	2.771	0.137





Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudo statico, si eseguirà un calcolo elastico assumendo un fattore di struttura unitario. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LI02</td> <td>02 D 78</td> <td>CL</td> <td>IN000 006</td> <td>B</td> <td>18 di 40</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	18 di 40
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	18 di 40								

## 6 SOFTWARE DI CALCOLO

### 6.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo adottati

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il Sap 2000 v.14.1 prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures, Inc.1995 University Ave. Berkeley. Questa procedura è sviluppata in ambiente Windows, permette l'analisi elastica lineare e non di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono frame (trave), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi sono applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una vasta serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

Tale programma fornisce in output, oltre a tutte le caratteristiche geometriche e di carico delle strutture, i risultati relativi alle sollecitazioni indotte nelle sezioni degli elementi presenti.

### 6.2 Unità di misura

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi
- angoli: gradi sessadecimali o radianti
- si assume l'uguaglianza  $1 \text{ kN} = 100 \text{ kg}$

### 6.3 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo e' garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto. E' possibile inoltre ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura.

### 6.4 Valutazione della correttezza del modello

Il modello di calcolo adottato e' da ritenersi appropriato in quanto non sono state riscontrate labilità, le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati, la simmetria di carichi e struttura dà origine a sollecitazioni simmetriche.

	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B	FOGLIO 19 di 40

## 6.5 Caratteristiche dell'elaborazione

Tutte le analisi strutturali sono state eseguite su di una workstation dedicata avente le seguenti

caratteristiche tecniche:

- Tipo Intel i7
- Memoria centrale 8 Gb;
- Lunghezza in bit della parola 64 bit;
- Memoria di massa 1 Hard disk da 500 Gb.

## 6.6 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli

Si ritiene che i risultati ottenuti dalla elaborazione siano accettabili e che le ipotesi poste alla base della formulazione del modello matematico siano valide come dimostrato dal comportamento dei materiali.

All'interno del pacchetto Sap 2000 sono inoltre presente una serie di test per il benchmark del solutore, che consentono di comprovare l'affidabilità del codice di calcolo e paragonare risultati ottenuti con le soluzioni esatte.

## 6.7 Programmi di servizio

Per le verifiche delle sezioni si adotta il programma: "RC-SEC" – Autore GEOSTRU Software. ANALISI DEI CARICHI E FASI

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

## 7 MURO D'ALA

La dimensione interna è di 6.50m e l'altezza interna pari a 3.50m, piedritti di spessore 0.50m e soletta inferiore di spessore 0.60m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di sezione ad "U" avente lunghezza di 1.00 m. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera.

### 7.1 Geometria

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	7.50	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	6.50	m
larghezza interasse	$L_a$	7.00	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.00	m
spessore piedritti	$S_p$	0.50	m
spessore fondazione	$S_f$	0.60	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	4.10	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	3.50	m
spessore pacchetto stradale superiore	$H_{p_{sup}}$	0.00	m
spessore ricoprimento superiore	$H_{R_{sup}}$	0.00	m
spessore pacchetto stradale inferiore	$H_{p_{inf}}$	0.00	m
spessore ricoprimento inferiore	$H_{R_{inf}}$	0.00	m

### 7.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello del telaio chiuso su letto di molle alla Winkler.

Il modello considerato per l'analisi è quello di una sezione ad "U" di profondità unitaria (1.00m) soggetto alle azioni da traffico di norma e quelle permanenti. In corrispondenza dei vertici della sezione ad "U" sono state inserite delle zone rigide pari a metà spessore degli elementi.

Il terreno di fondazione è stato modellato utilizzando la schematizzazione alla Winkler con un opportuno coefficiente di sottofondo.

	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B



**Fig. 3 – Numerazione aste e nodi**

### 7.2.1 Valutazione della rigidezza delle molle

Si considera lo sezione ad “U” appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di “linear spring” pari a  $K= 10000 \text{ kN/mc}$ .

### 7.3 Analisi dei carichi

#### 7.3.1 Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati

<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	15.00 kN/m
	- Totale	<b>15.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>

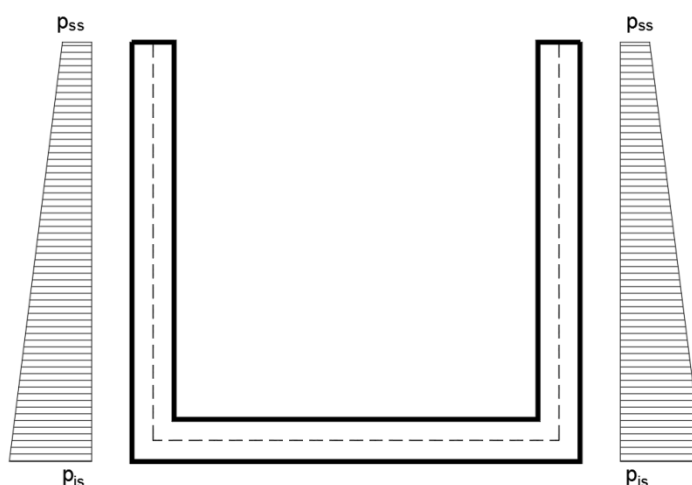
#### 7.3.2 Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 35^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l’elevata rigidezza dello sezione ad “U”, utilizzando la formula

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

$K_0=1-\sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0=0.43$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$\begin{aligned}
 p_{ss} &= K_0 * (H_f + H_p + S_s/2) * \gamma = 0.0 \text{ kN/m} \\
 p_{is} &= p_{ss} + K_0 * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 32.4 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta inferiore con valore pari a 10.11 kN.

#### 7.4 Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

$$\text{Forza sismica orizzontale } F_h = k_h * W$$

$$\text{Forza sismica verticale } F_v = k_v * W$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:  $k_h = a_{\max}/g$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 14/01/2008 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una III classe d'uso  $C_u = 1.5$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 113$  anni

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.242 \text{ g}$ .

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S * a = S_s * S_t * a_g$$

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$$S_s = 1.366 \quad \text{Coefficiente di amplificazione stratigrafica}$$

$$S_T = 1 \quad \text{Coefficiente di amplificazione topografica}$$

ne deriva che:

$$a_{\max} = 1.366 * 1 * 0.242 \text{ g} = 0.331 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max} / g = 0.331$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.165$$

### Sisma orizzontale

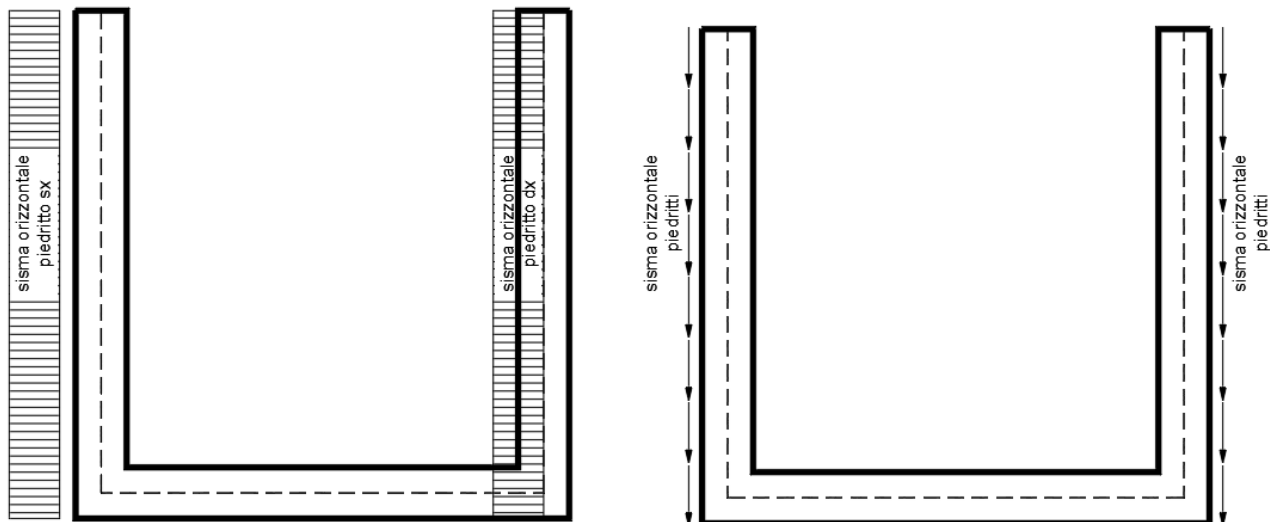
$$\begin{aligned}
 F_{\text{sis}} &= a_{\max} * \gamma * H_{\text{tot}} && 27.11 \text{ kN/m} && \text{(carico applicato sulla parete)} \\
 F_{\text{inp}} &= \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} && = 4.13 \text{ kN/m} && \text{(inerzia piedritti)} \\
 \text{Totale} &= && \underline{31.24 \text{ kN/m}} && \text{(piederitto sx)} \\
 \text{Totale} &= && \underline{4.13 \text{ kN/m}} && \text{(piederitto dx)}
 \end{aligned}$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta inferiore con valore pari a 9.37 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta inferiore con valore pari a 1.24 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 2.07 \text{ kN/m} \quad \text{(inerzia piedritti)}$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  $G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta inferiore con valore pari a 2.56 kN.

### 7.5 Spinta sismica terreno

Le spinte delle terre potranno essere determinate secondo la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = (a_{max}/g) * \gamma * H_{tot}^2$$

Tale risultante applicata ad un'altezza pari ad  $H_{tot}/2$ .sarà considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

## 8 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$



 <p><b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA PESCARA – BARI</b>  <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b>  <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b>  <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b>  <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LI02</td> <td>02 D 78</td> <td>CL</td> <td>IN000 006</td> <td>B</td> <td>25 di 40</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	25 di 40
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	25 di 40								

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare nel calcolo della struttura sezione ad "U" si è fatto riferimento alla combinazione A1 STR (Approccio 1 – Combinazione 1) per le verifiche strutturali ed A1 GEO (Approccio 1 – Combinazione 2) per le verifiche geotecniche.

### 8.1 Combinazione dei carichi

Le condizioni di carico elementari sono le seguenti

- 1 Peso proprio elementi strutturali e non strutturali ( $g_1$ )
- 2 Carichi permanenti portati ( $g_2$ )
- 3 Spinta delle terre calcolata con i coefficienti A1+M1 ( $g_{3\text{str}}$ )
- 4 Ritiro e viscosità ( $\epsilon_2$ )
- 5 Variazioni termiche ( $\epsilon_3$ )
- 11 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale 20kN/m su parete sx calcolato con i coefficienti A1+M1 ( $q_{9\text{str}}$ )
- 12 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale 20kN/m su parete sx calcolato con i coefficienti A2+M2 ( $q_{9\text{geo}}$ )

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

13 Spinta delle terre calcolata con i coefficienti A2+M2 ( $g_{3geo}$ )

14 Sisma orizzontale ( $q_{6x}$ )

15 Sisma verticale ( $q_{6z}$ )

Non tutte le condizioni precedenti sono attive per l'opera in esame.

L'opera principale è trattata con le combinazioni tipiche dei ponti ai sensi del DM 14/01/2008 e s.m.i.

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

La tabella fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

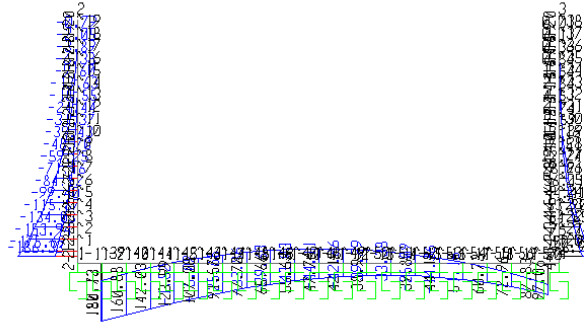
I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati di seguito.

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$\sigma_1$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$\sigma_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	$\sigma_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$\sigma_4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

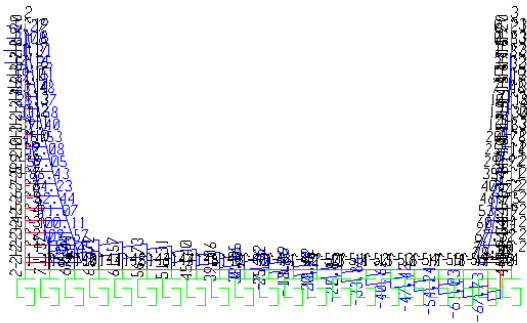
**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

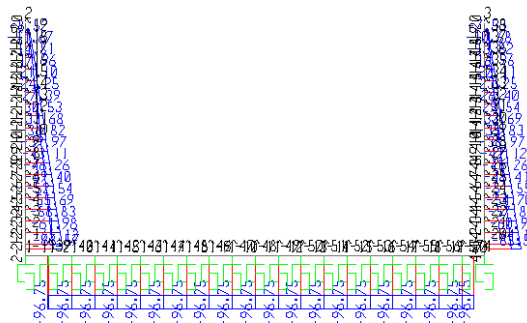
## 9 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI



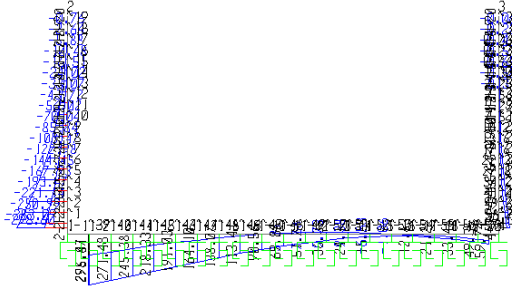
**Fig. 4 – Involuppo momenti flettenti SLU**



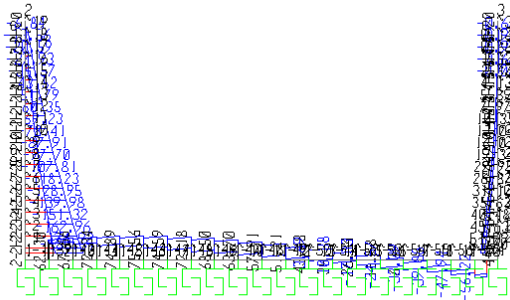
**Fig. 5 – Involuppo sforzi taglienti SLU**



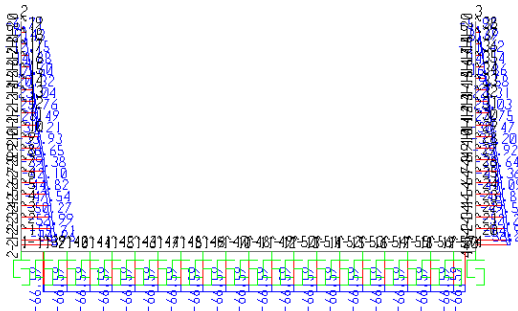
**Fig. 6 – Involuppo azioni assiali SLU**



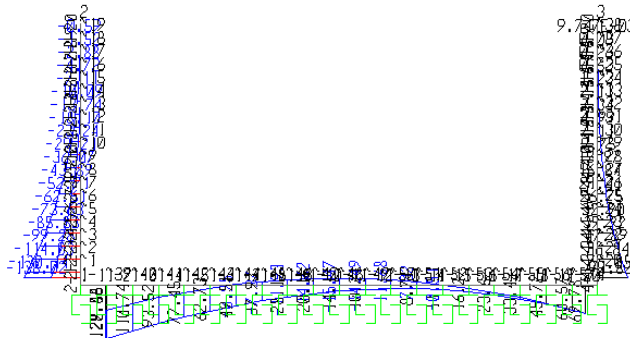
**Fig. 7 – Involuppo momenti flettenti SLV**



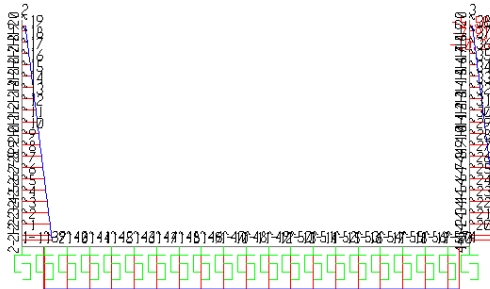
**Fig. 8 – Involuppo sforzi taglienti SLV**



**Fig. 9 – Involuppo azioni assiali SLV**



**Fig. 10 – Involuppo momenti flettenti SLE rara**



**Fig. 11 – Involuppo azioni assiali SLE rara**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN000 006	REV. B

## 10 VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori delle sollecitazioni massime e i valori delle sollecitazioni per la verifica a fessurazione risultanti dalle combinazioni di cui al capitolo precedente.

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

Elemento strutturale	Sezione	SLU STR					SLU SISMA				
		ID Asta		N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	T <sub>max</sub> (kN)	ID Asta		N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	T <sub>max</sub> (kN)
soletta inferiore	nodo	3		96.00	-45.00	72.00	5		54.00	297.00	76.00
soletta inferiore	campata	3		70.00	181.00	-	5		66.00	10.00	-
pedritti	nodo soletta inf	2		68.00	-199.00	130.00	2		58.00	-318.00	188.00

Elemento strutturale	Sezione	SLE RARA				SLE FREQUENTE				SLE QUASI PERMANENTE			
		ID Asta		N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	ID Asta		N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	ID Asta		N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)
soletta inferiore	nodo	3		71.00	-16.00	3		71.00	-16.00	3		71.00	-15.00
soletta inferiore	campata	3		71.00	130.00	3		71.00	102.00	3		71.00	70.00
pedritti	nodo soletta inf	2		50.00	-148.00	2		50.00	-120.00	2		50.00	-78.00

### 10.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.800 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.400 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	182.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.28 Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	32 di 40

Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1^* \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1^* \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50	MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	60.0
2	50.0	60.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.2	54.2	16
2	44.2	54.2	16
3	44.2	5.8	16
4	-44.2	5.8	16

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	3	4	8	16
2	1	2	3	16

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 8 mm  
Passo staffe: 16.7 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x



**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	33 di 40

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	96.00	-45.00	0.00	72.00	0.00
2	70.00	181.00	0.00	0.00	0.00
3	54.00	297.00	0.00	76.00	0.00
4	66.00	10.00	0.00	0.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	71.00	-16.00	0.00
2	71.00	130.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	71.00	-16.00 (-409.63)	0.00 (0.00)
2	71.00	102.00 (234.03)	0.00 (0.00)

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	71.00	-15.00 (-437.57)	0.00 (0.00)
2	71.00	70.00 (242.59)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.2 cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.2 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	34 di 40

Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	96.00	-45.00	0.00	95.85	-241.64	0.00	5.44	30.2(18.0)
2	S	70.00	181.00	0.00	69.80	427.42	0.00	2.36	30.2(18.0)
3	S	54.00	297.00	0.00	53.79	423.45	0.00	1.43	30.2(18.0)
4	S	66.00	10.00	0.00	66.18	426.53	0.00	40.65	30.2(18.0)

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00064	-44.2	5.8	-0.03520	44.2	54.2
2	0.00350	50.0	60.0	-0.00006	44.2	54.2	-0.02972	-44.2	5.8
3	0.00350	50.0	60.0	-0.00009	44.2	54.2	-0.03009	-44.2	5.8
4	0.00350	50.0	60.0	-0.00006	44.2	54.2	-0.02980	-44.2	5.8

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000713942	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000612950	-0.033276973	----	----
3	0.000000000	0.000619672	-0.033680330	----	----
4	0.000000000	0.000614477	-0.033368645	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 8 mm  
Passo staffe: 16.7 cm [Passo massimo di normativa = 19.2 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di $V_x$ e $V_y$ sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
bw	I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce. Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	35 di 40

E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	72.00	1707.68	307.63	58.0  52.2	100.0	2.500	1.009	1.4	6.0(0.0)
2	S	0.00	2455.19	122.29	57.7  51.9	100.0	1.000	1.006	0.0	6.0(0.0)
3	S	76.00	1691.66	305.87	57.7  51.9	100.0	2.500	1.005	1.5	6.0(0.0)
4	S	0.00	2454.60	122.30	57.7  51.9	100.0	1.000	1.006	0.0	6.0(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.41	50.0	0.0	-4.2	22.1	54.2	928	10.1
2	S	3.31	-50.0	60.0	-114.9	-34.4	5.8	1450	20.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = (e1 + e2)/(2\*e1) [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max\*(e\_sm - e\_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00003	0	0.834	16.0	50	0.00001 (0.00001)	589	0.007 (0.20)	-409.63	0.00
2	S	-0.00066	0	0.837	16.0	50	0.00034 (0.00034)	498	0.172 (0.20)	230.20	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.41	50.0	0.0	-4.2	22.1	54.2	928	10.1
2	S	2.61	-50.0	60.0	-86.7	-34.4	5.8	1450	20.1

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	36 di 40

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00003	0	0.834	16.0	50	0.00001 (0.00001)	589	0.007 (0.20)	-409.63	0.00
2	S	-0.00050	0	0.835	16.0	50	0.00026 (0.00026)	498	0.129 (0.20)	234.03	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.37	50.0	0.0	-3.2	22.1	54.2	831	10.1
2	S	1.81	-50.0	60.0	-54.6	-34.4	5.8	1400	20.1

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00002	0	0.837	16.0	50	0.00001 (0.00001)	546	0.005 (0.20)	-437.57	0.00
2	S	-0.00032	0	0.836	16.0	50	0.00016 (0.00016)	487	0.080 (0.20)	242.59	0.00

## 10.2 Verifica piedritti

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.800 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.400 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	182.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.28 Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	37 di 40

Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	50.0
2	50.0	50.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.0	43.0	18
2	43.0	43.0	18
3	43.0	7.0	18
4	-43.0	7.0	18

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	8	18
2	3	4	3	18

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 8 mm  
 Passo staffe: 16.7 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	68.00	-199.00	0.00	130.00	0.00
2	58.00	-318.00	0.00	188.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA</b> <b>Lotti 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI-RIPALTA</b> <b>Opere D'Arti Minori - Interferenze idrauliche</b> <b>TIPOLOGICO TIPO C- 2 TOMBINI SCATOLARI 3,00X3,00</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO</b>	COMMESSA <b>LI02</b>	LOTTO <b>02 D 78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN000 006</b>	REV. <b>B</b>

N°Comb.	N	Mx	My
1	50.00	-148.00	0.00

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	50.00	-120.00 (-161.40)	0.00 (0.00)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	50.00	-78.00 (-164.61)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.3 cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	68.00	-199.00	0.00	68.18	-414.26	0.00	2.08	38.2(15.0)
2	S	58.00	-318.00	0.00	57.95	-412.35	0.00	1.30	38.2(15.0)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Xc max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	39 di 40

es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	0.00000	-43.0	7.0	-0.01803	43.0	43.0
2	0.00350	-50.0	0.0	-0.00002	-43.0	7.0	-0.01814	43.0	43.0

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000500612	0.003500000	----	----
2	0.000000000	-0.000503218	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:	8 mm
Passo staffe:	16.7 cm [Passo massimo di normativa = 21.6 cm]

Ver	S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di $V_x$ e $V_y$ sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e $D_{med}$ .
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm <sup>2</sup> /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm <sup>2</sup> /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore $L/d_{max}$ con $L$ =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e $d_{max}$ = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	130.00	1312.57	236.75	47.2 40.2	100.0	2.500	1.007	3.3	6.0(0.0)
2	S	188.00	1311.66	236.84	47.2 40.2	100.0	2.500	1.006	4.8	6.0(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------

**RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN000 006	B	40 di 40

1 S 4.97 50.0 0.0 -143.4 33.4 43.0 1200 25.4

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area $A_c$ eff
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= $(e1 + e2)/(2 * e1)$ [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_c$ eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00089	0	0.834	18.0	61	0.00043 (0.00043)	448	0.193 (0.20)	-160.30	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.04	50.0	0.0	-114.5	33.4	43.0	1150	25.4

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00071	0	0.840	18.0	61	0.00034 (0.00034)	440	0.151 (0.20)	-161.40	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.65	50.0	0.0	-71.2	33.4	43.0	1150	25.4

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00045	0	0.837	18.0	61	0.00021 (0.00021)	439	0.094 (0.20)	-164.61	0.00