

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**

LOTTI 2 E 3 – RADDOPPIO TERMOLI – RIPALTA

IN – INTERFERENZE IDRAULICHE

TIPOLOGICO E - Tombino stradale Ø1500

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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 9    A

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

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Generale  
UO Infrastrutture Sud  
Dott. Ing. Danilo Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10878

## 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	TOMBINO STRADALE DN1500 .....	20

9	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....	38
10	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	42
10.1	VERIFICA SOLETTA SUPERIORE .....	43
10.2	VERIFICA SOLETTA INFERIORE.....	47
10.3	VERIFICA PIEDRITTI .....	50

## 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.

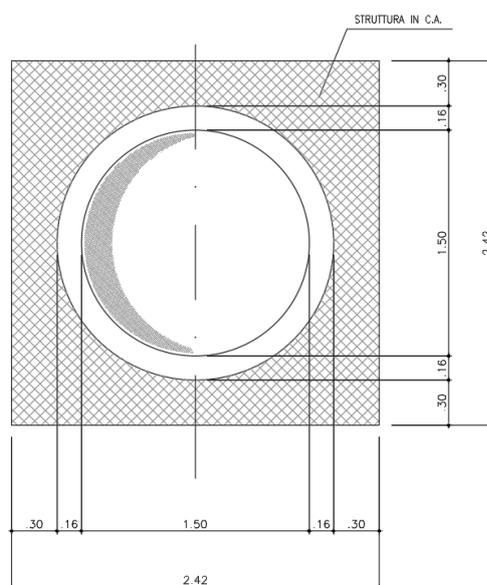
Il tombino si rende necessario per garantire la continuità idraulica del nuovo tracciato stradale.

L'opera consiste in un tombino circolare che in fase di calcolo viene assimilato ad una sezione scatolare come descritto successivamente.

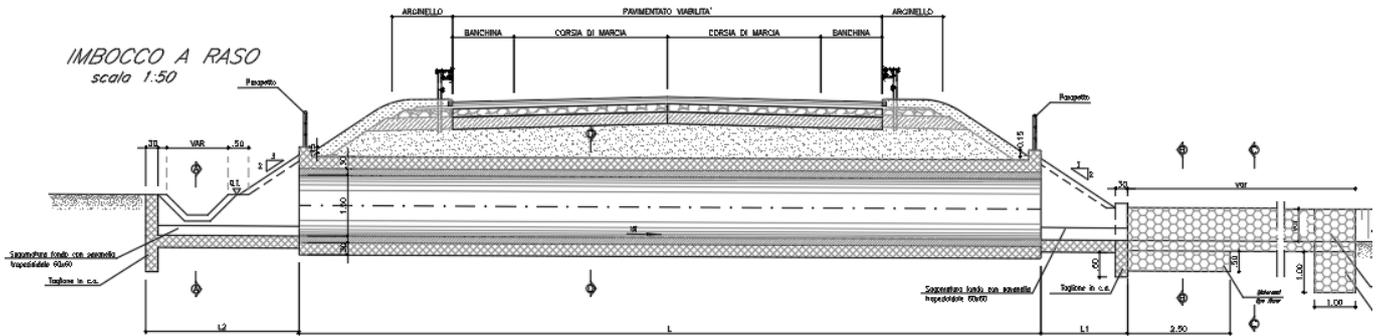
La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 1.82$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 1.82$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.30$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.30$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.30$  m.

Nell'immagine seguente si riportano una sezione trasversale ed 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 dell'opera



**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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A	FOGLIO 6 di 54

## 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>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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

### 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	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<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	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	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;

 <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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

Modulo Elastico

$E_s = 210'000$  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 in ambito Ferroviario, quelli indicati nel documento "RFI DTC SI MA IFS 001 B del 2019 - 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

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

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

 <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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

## 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	≤w <sub>2</sub>	ap. fessure	≤w <sub>3</sub>
		quasi permanente	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤w <sub>2</sub>
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>

 <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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

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 (XA1) 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>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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

## 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-geotecnici 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 SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	12 di 54

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

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

$$n = 0.3$$

$$B = 2.4 \text{ m}$$

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

$$L/B = 8.26$$

$$c_t = 1.98$$

$$K_w = 22925 \text{ kN/m}^3$$

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa  $22000 \text{ kN/m}^3$ .

 <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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

## 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 ( $V_N$ ), 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 ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 75$  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:  LATTUDINE:

---

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

---

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

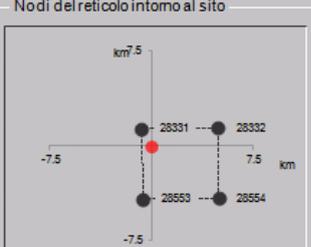
---

**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:

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**

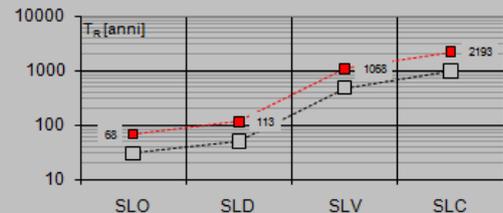
Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

---

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- .....□..... Strategia scelta

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 SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	16 di 54

**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**

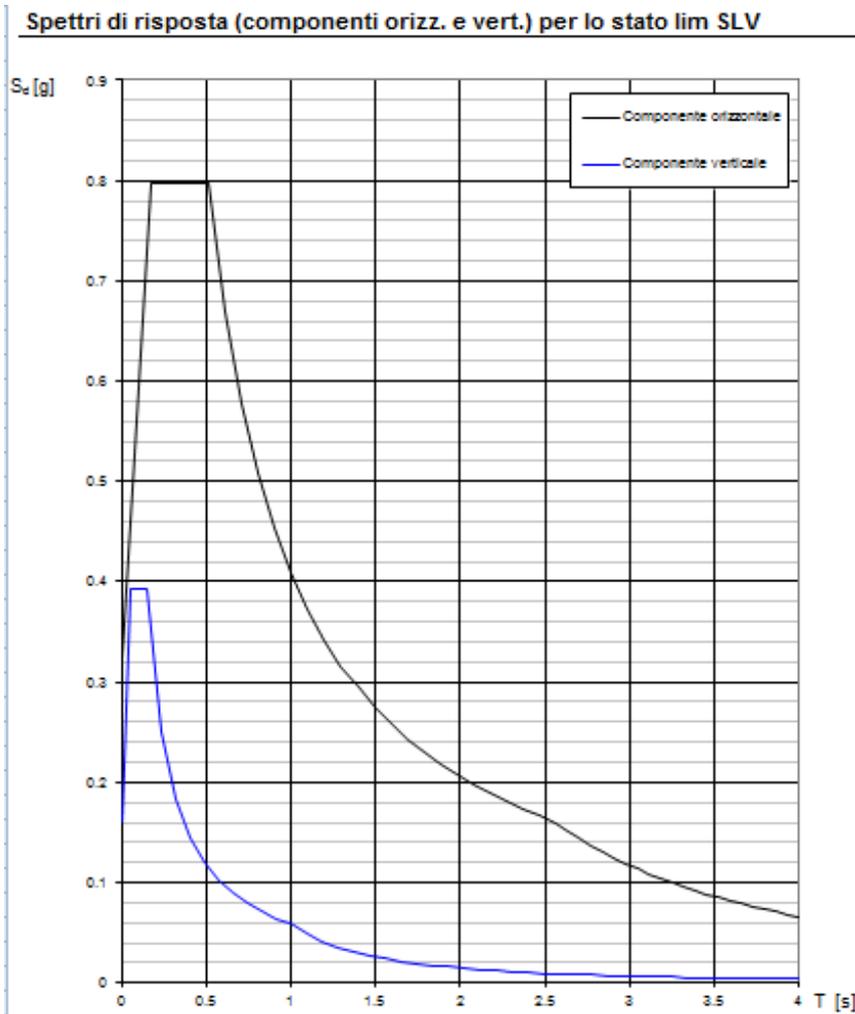
$S$	1.345
$\eta$	1.000
$T_R$	0.172 s
$T_C$	0.515 s
$T_D$	2.567 s

**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>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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A	FOGLIO 18 di 54

## 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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A	FOGLIO 19 di 54

## 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.

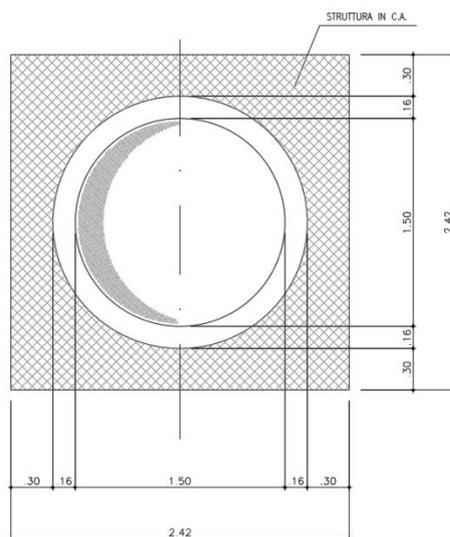
## 6.7 Programmi di servizio

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

## 7 TOMBINO STRADALE DN1500

La dimensione interna è di 1.82m e l'altezza interna pari a 1.82m, con soletta superiore di spessore 0.30m, piedritti di spessore 0.30m e soletta inferiore di spessore 0.30m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare 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	$L_{tot}$	2.42	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	1.82	m
larghezza interasse	$L_a$	2.12	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.30	m
spessore piedritti	$S_p$	0.30	m
spessore fondazione	$S_f$	0.30	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	2.42	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	1.82	m
spessore pacchetto stradale superiore	$H_{p_{sup}}$	0.13	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

 <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 E - Tombino stradale <math>\phi 1500</math></b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

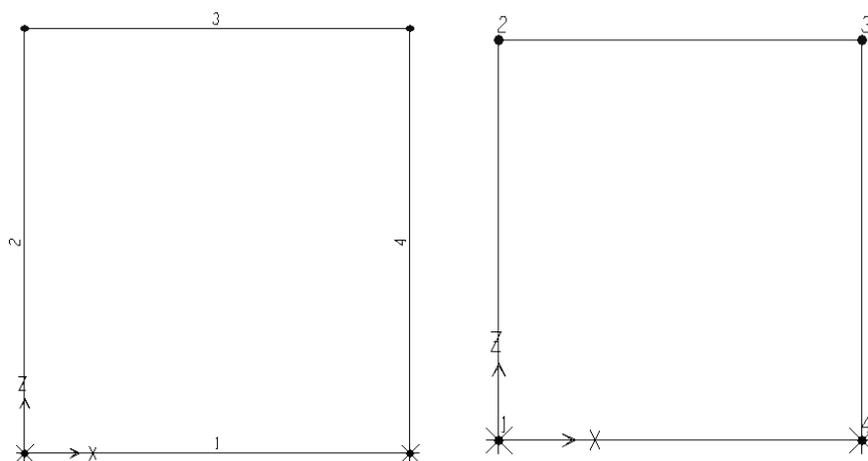
## 7.2 Modello di calcolo

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 uno scatolare di profondità unitaria (1.00m) soggetto alle azioni da traffico di norma e quelle permanenti. In corrispondenza dei vertici dello scatolare 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.

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazione aste*

*Numerazione nodi*

### 7.2.1 Valutazione della rigidità delle molle

Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di “linear spring” pari a  $K = 22000 \text{ kN/mc}$ .

### 7.3 Analisi dei carichi

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

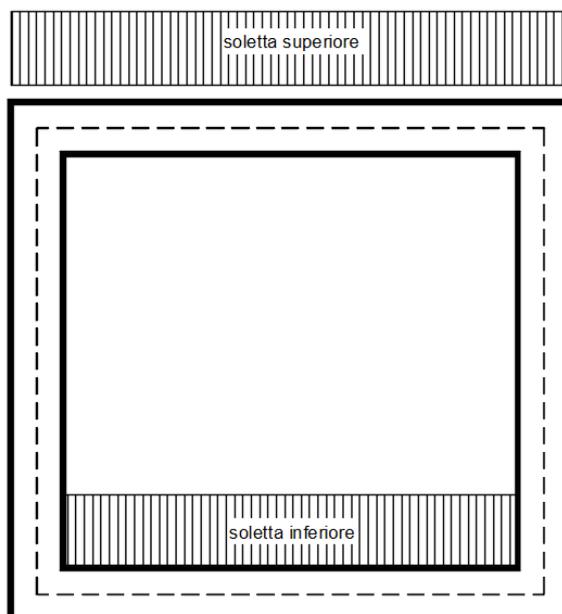
<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	7.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>7.50 kN/m</b>

- Peso pacchetto pavimentazione 13 cm	3.00 kN/m
- Peso terreno ricoprimento	0.00 kN/m
<b>- Totale</b>	<b>3.00 kN/m</b>

<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	7.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>7.50 kN/m</b>

- Peso pacchetto pavimentazione 0 cm	0.00 kN/m
- Peso terreno ricoprimento	0.00 kN/m
<b>- Totale</b>	<b>0.00 kN/m</b>

<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	7.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>7.50 kN/m</b>



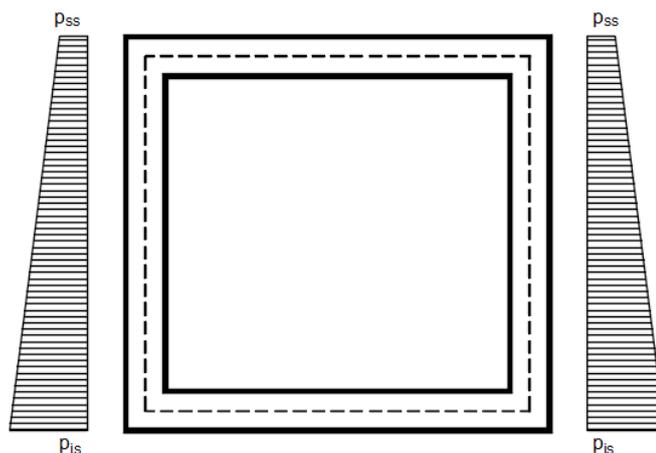
Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.45 kN. Al fine di considerare le porzioni di struttura relative al cerchio inscritto nella sezione scatolare, nei quattro nodi di vertice si considera un carico, dovuto al peso proprio, pari a 3.00 kN.

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

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 35^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.43$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_0 * (H_f + H_p + S_s/2) * \gamma = 2.4 \text{ kN/m}$$

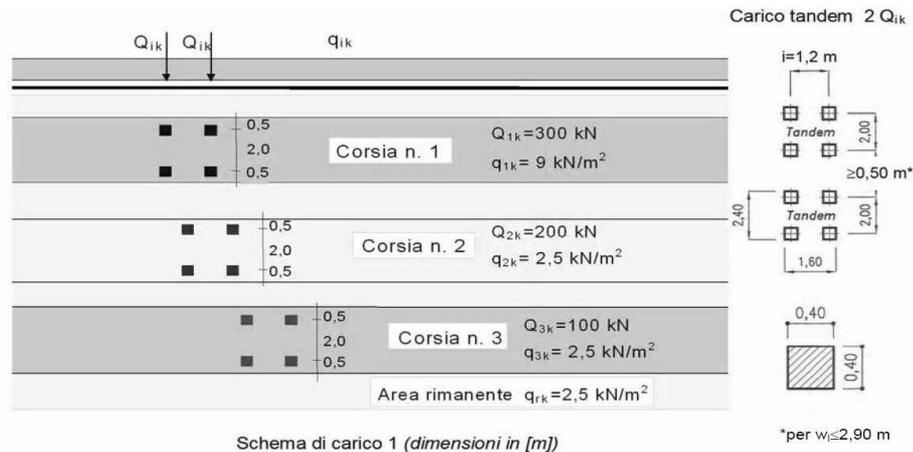
$$p_{is} = p_{ss} + K_0 * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 20.5 \text{ kN/m}$$



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 superiore con valore pari a 0.26 kN ed inferiore con valore pari a 3.17 kN.

### 7.1 Ripartizione dei carichi mobili verticali

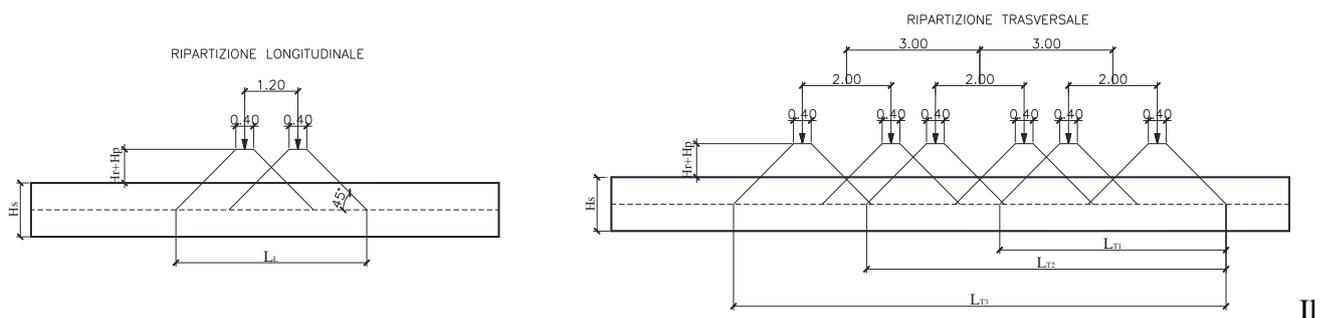
Le azioni variabili del traffico definite nello Schema di Carico 1 sono costituite da carichi concentrati e da carichi uniformemente distribuiti. Tale schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali.



Il numero delle colonne di carichi mobili e la loro disposizione sono quelli massimi compatibili con la larghezza della carreggiata considerata, per i ponti di 1a Categoria.

Posizione	Carico asse $Q_{1k}$ [kN]	$q_{1k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9
Corsia Numero 2	200	2,5
Corsia Numero 3	100	2,5
Altre corsie	0,00	2,50

La ripartizione dei carichi si effettua considerando il carico isolato da 150 kN con impronta quadrata di lato 0.4 m.



carico è schematizzato da due assi da 150 kN disposti ad interasse di 1.20m.

Si procede al calcolo dei carichi per metro lineare riferiti al baricentro della soletta per i diversi treni di carico.

Si considera una larghezza di ripartizione trasversale massima pari alla larghezza della corsia di carico di 3.00 m pertanto:

$$q_{1k} = \frac{600}{L_L \times L_{T1}}$$

$$\begin{array}{ll}
 L_L = & 2.05 \text{ m} & q_{2k} = & 9.0 \text{ kN/m}^2 \\
 L_{T1} = & 2.85 \text{ m} & q_{1k} = & 102.7 \text{ kN/m}^2 \\
 L_{T2} = & 5.85 \text{ m} & q_{1k} = & 83.4 \text{ kN/m}^2 \\
 L_{T3} = & 8.85 \text{ m} & q_{1k} = & 66.1 \text{ kN/m}^2
 \end{array}$$

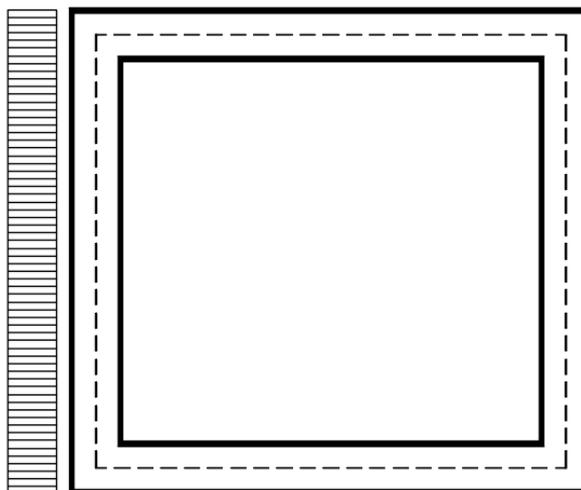
Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 15.40 kN per i carichi concentrati e valore pari a 1.35 kN per il carico distribuito.

Il calcolo dello scatolare viene eseguito per una striscia trasversale di 1.00m.

## 7.2 Spinta del sovraccarico sul rilevato $q_1=20 \text{ kN/m}$

$$\begin{array}{ll}
 q_1 = & 20.00 \text{ kN/m}^2 \\
 p_1(\text{str}) = q_1 * K_0 = & 8.53 \text{ kN/m}^2
 \end{array}$$

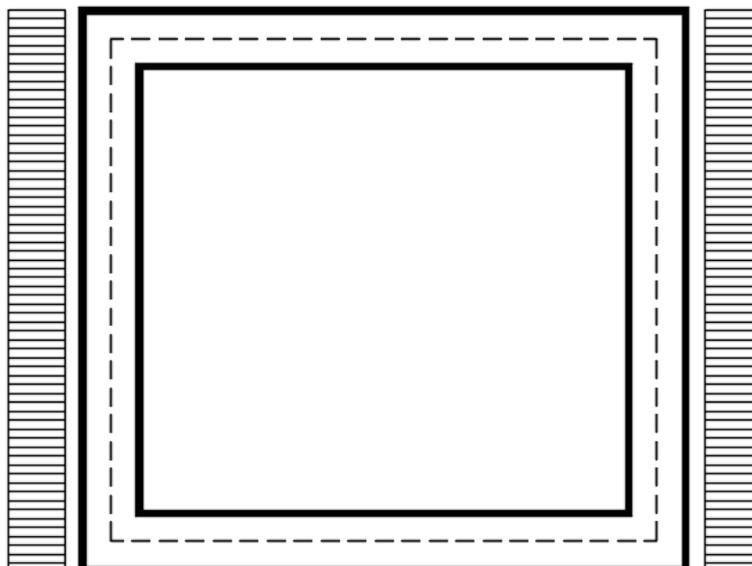
a) Spinta sul piedritto sinistro



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 superiore con valore pari a 1.28 kN ed inferiore con valore pari a 1.28 kN.

	<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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

b) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 1.28 kN ed inferiore con valore pari a 1.28 kN.

### 7.2.1 Frenatura

$$Q_3 = 0.6 \cdot (2Qk_1) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 367 \text{ kN}$$

$$w_1 = 3.00 \text{ m} \quad (\text{larghezza della corsia})$$

$$L = 2.42 \text{ m} \quad (\text{lunghezza della zona caricata})$$

La forza uniformemente distribuita da applicare sulla soletta vale:

$$q_3 = 50.5 \text{ kN/m}^2$$

### 7.2.2 Ritiro differenziale della soletta di copertura

Si considera una variazione termica uniforme equivalente sulla soletta superiore come da calcolo seguente. Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni dell'EUROCODICE 2-UNI EN1992-1-1 Novembre 2005 e DM 14-01-2008

#### Cls a t=0

$R_{ck}$	=	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	33.2	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	41.2	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33643	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

#### Tempo e ambiente

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	600	mm	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c$	=	300000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

Coefficiente di viscosità  $\phi(t, t_0)$  e modulo elastico  $EC_t$  a tempo "t"

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.982$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 127.48 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 = 1.256 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.892 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	28 di 54

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35\text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35\text{MPa} \end{cases} = 0.968 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.617 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del cls}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.649 \text{ coeff per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 6.19 \text{ coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$\alpha = 1$  coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{u.3} = 0.984 \text{ coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35\text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35\text{MPa} \end{cases} = 0.922 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

**Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:**

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11281951 \text{ kN/m}^2$$

**Deformazioni di ritiro**

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000343 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000285 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.977507$$

$K_h =$  **0.7** *parametro che dipende da  $h_0$  secondo il prospetto seguente*

Valori di  $k_h$

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Valori di  $K_h$  intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{ca,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000416 \quad \text{deformazione di base}$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RHO} \right)^3 \right] = 0.896094$$

$f_{cm0} =$  **10** Mpa

$RH0 =$  **100** %

$\alpha_{ds1} =$  **6**

$\alpha_{ds2} =$  **0.11**

*coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)*

*coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)*

$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} =$  **0.000058** *deformazione dovuta al ritiro autogeno*

$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) =$  **1**

$\varepsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} =$  **0.000058**

Variatione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} =$$
 **-11.50 °C**

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura

### 7.3 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:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

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

 <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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

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

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  $a_g = 0.242$  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:

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

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

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

$F_{sis} = a_{max} * \gamma * H_{tot}$		16.00	kN/m	(carico applicato sulla parete)
$F_{inp} = \alpha * S_p * \gamma * 1m$	=	2.48	kN/m	(inerzia piedritti)
<b>Totale</b>	<b>=</b>	<b>18.48</b>	<b>kN/m</b>	<b>(piederitto sx)</b>
<b>Totale</b>	<b>=</b>	<b>2.48</b>	<b>kN/m</b>	<b>(piederitto dx)</b>
$F_{inr} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1m$	=	0.86	kN/m	(inerzia pavimentazione e riempimento)
$F_{ins} = \alpha * S_s * \gamma_{cls} * 1m$	=	1.98	kN/m	(inerzia soletta superiore)
<b>Totale</b>	<b>=</b>	<b>2.84</b>	<b>kN/m</b>	<b>(soletta superiore)</b>

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 superiore con valore pari a 2.77 kN ed inferiore con valore pari a 2.77 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.37 kN ed inferiore con valore pari a 0.37 kN.

### Sisma verticale

$$F_{imp} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1m = 1.24 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

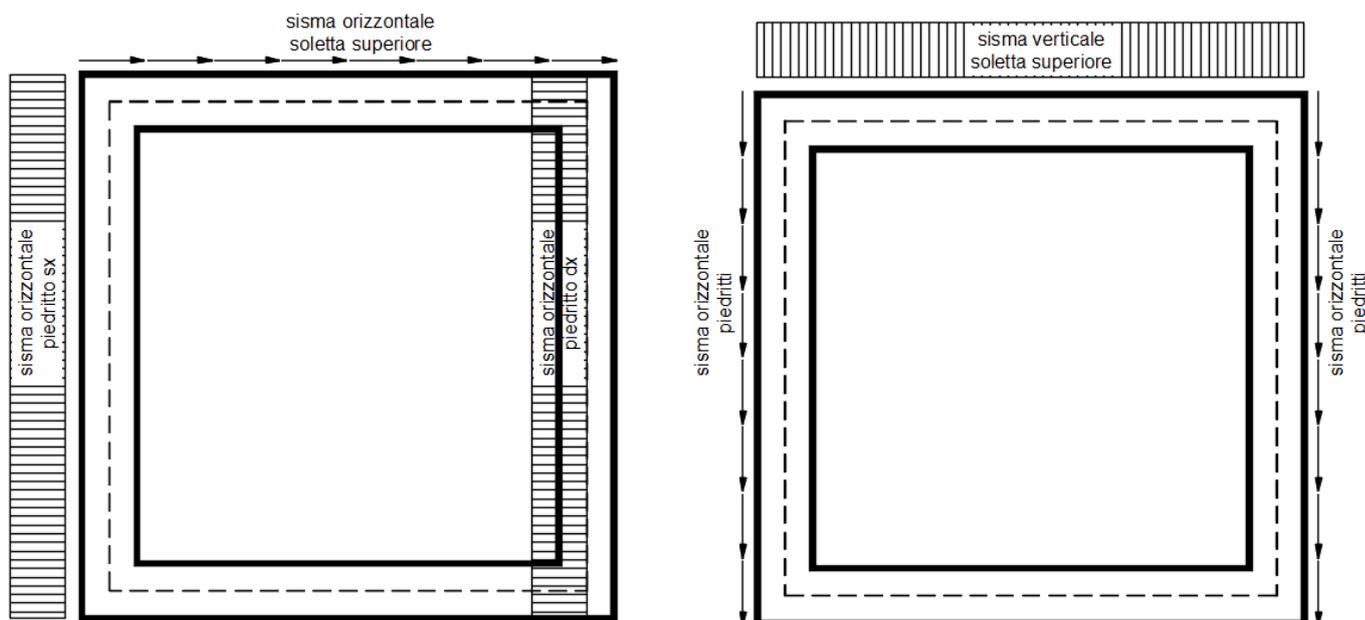
$$F_{inf} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1m = 0.43 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia pavimentazione e riempimento})$$

$$F_{ins} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{cls} * 1m = 0.99 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 1.42 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.21 kN.

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 superiore con valore pari a 1.28 kN ed inferiore con valore pari a 1.28 kN.

 <p><b>ITALFERR</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></p> <p><b>TIPOLOGICO E - Tombino stradale φ1500</b></p>					
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b></p>	<p>COMMESSA LI02</p>	<p>LOTTO 02 D 78</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO IN0000 009</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 32 di 54</p>

#### 7.4 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:

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

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

	<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 E - Tombino stradale φ1500</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A	FOGLIO 33 di 54

## 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:

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

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 scatolare 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.

	<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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A	FOGLIO 34 di 54

## 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 ( $\epsilon_3$ )
- 6 Gruppo di carico con valore caratteristico del carico tandem per  $M_{\max}$  (GR-T )
- 7 Gruppo di carico con valore caratteristico del carico uniforme (GR-U )
- 8 Gruppo di carico con valore caratteristico del carico tandem per  $T_{\max}$  (GR-T )
- 10 Gruppo di carico 2a con frenatura (GR-Fr)
- 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 ( $q_{9\text{geo}}$ )
- 13 Spinta delle terre calcolata con i coefficienti A2+M2 ( $g_{3\text{geo}}$ )
- 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.

 <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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA <b>LI02</b>	LOTTO <b>02 D 78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 009</b>	REV. <b>A</b>

Tabella 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Carichi sulla carreggiata						Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
Carichi verticali				Carichi orizzontali		Carichi verticali
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura $q_3$	Forza centrifuga $q_4$	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup>
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 <sup>(*)</sup>						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
4 <sup>(**)</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
5 <sup>(***)</sup>	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

<sup>(\*)</sup> Ponti di 3<sup>a</sup> categoria  
<sup>(\*\*)</sup> Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
<sup>(\*\*\*)</sup> Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

La Tab. 5.1.V 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 nella Tab. 5.1.VI.

 <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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA <b>LI02</b>	LOTTO <b>02 D 78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 009</b>	REV. <b>A</b>

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Tabella 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento $q_5$	Vento a ponte scarico	0,6	0,2	0,0
	SLU e SLE			
	Esecuzione	0,8	----	0,0
Neve $q_5$	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

**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>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{tk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

## 9 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI

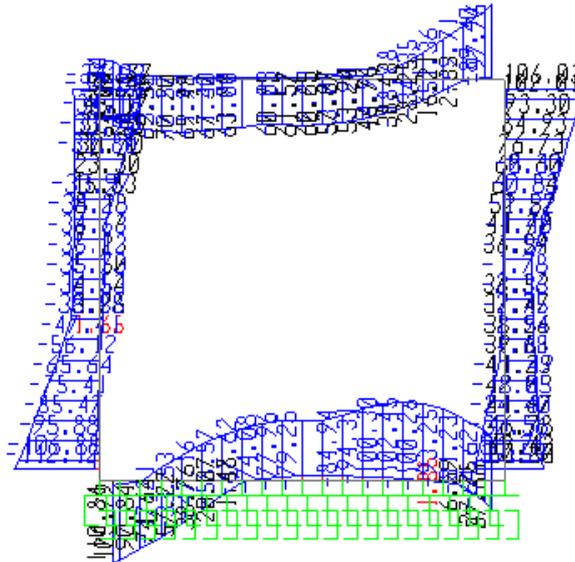


Fig. 3 – Involuppo momenti flettenti SLU

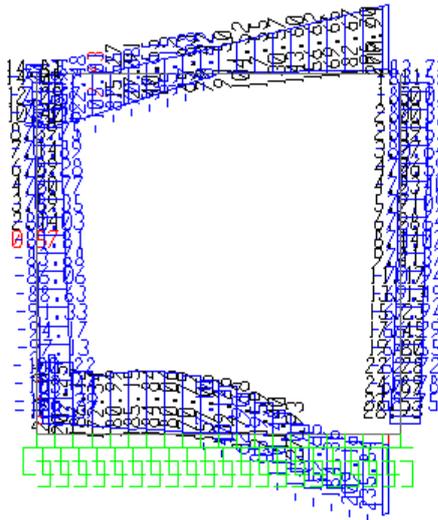
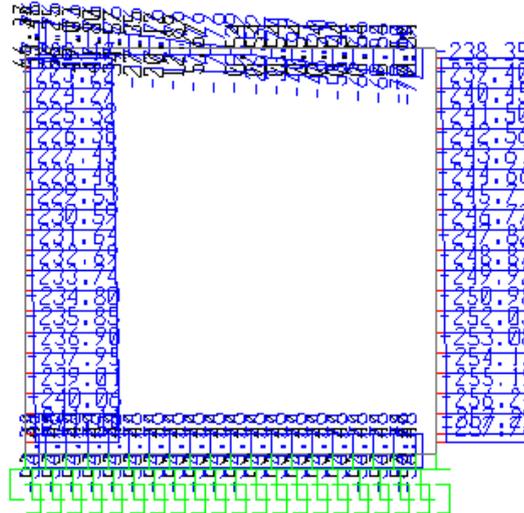
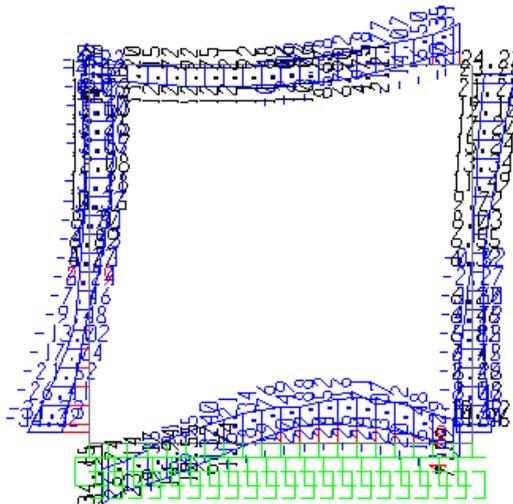


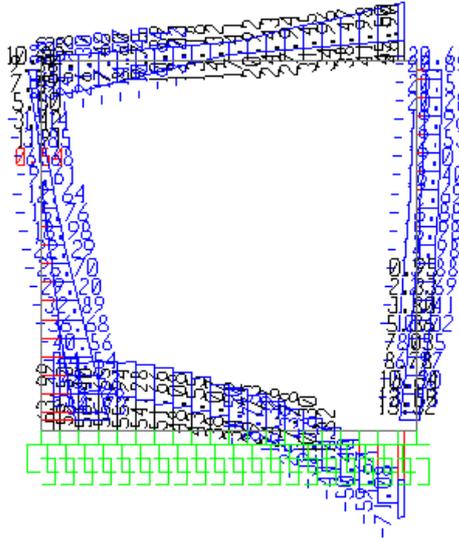
Fig. 4 – Involuppo sforzi taglienti SLU



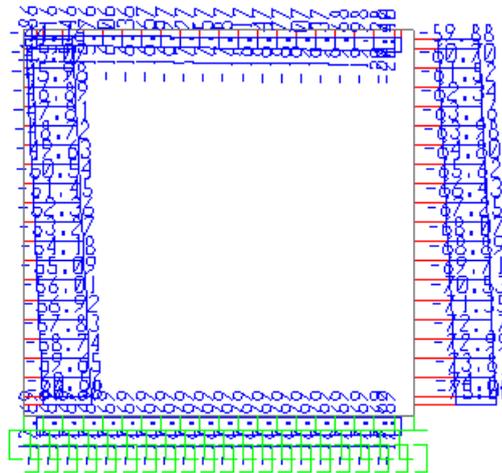
**Fig. 5 – Inviluppo azioni assiali SLU**



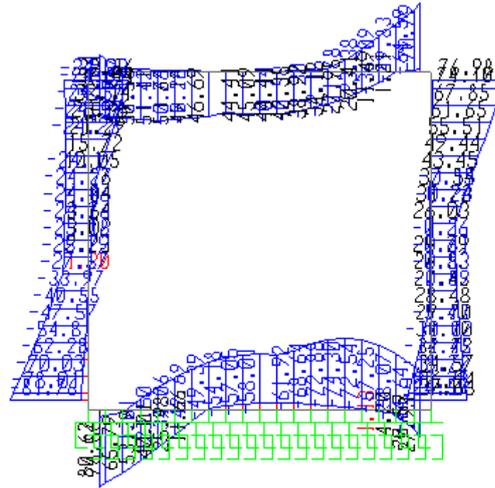
**Fig. 6 –Inviluppo momenti flettenti SLV**



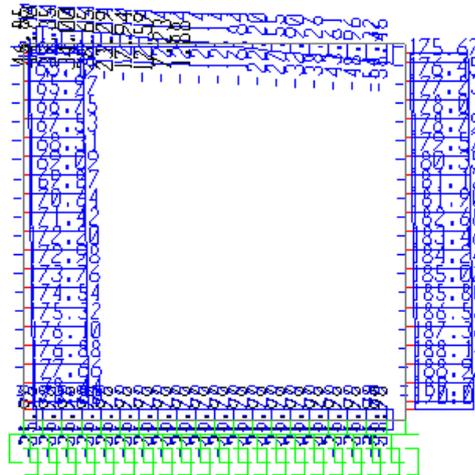
**Fig. 7 – Inviluppo sforzi taglienti SLV**



**Fig. 8 – Inviluppo azioni assiali SLV**



**Fig. 9 – Inviluppo momenti flettenti SLE rara**



**Fig. 10 – Inviluppo 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 E - Tombino stradale <math>\phi</math>1500</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA LI02	LOTTO 02 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 009	REV. A

## 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.

Per una copertura pari a 2.00 metri risultano le seguenti sollecitazioni:

Elemento strutturale	Sezione	SLU STR					SLU SISMA				
		ID Asta	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)	ID Asta	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)
soletta inferiore	nodo	1	SLU182	55.43	39.04	177.65	1	SLUsisma47	9.48	57.21	-110.43
soletta inferiore	campata	1	SLU164	43.67	-53.57	-	1	SLUsisma27	8.18	-41.01	-
soletta superiore	nodo	3	SLU90	37.35	-27.88	121.83	3	SLUsisma27	51.74	-44.74	89.54
soletta superiore	campata	3	SLU160	21.44	40.35	-	3	SLUsisma47	25.90	23.82	-
pieдритти	nodo soletta inf	2	SLU182	179.54	-46.62	-67.46	2	SLUsisma47	63.73	-56.70	-87.47
pieдритти	nodo soletta sup	4	SLU158	164.94	39.29	48.29	4	SLUsisma27	105.22	47.59	-51.96
pieдритти	mezzeria	2	SLU39	62.04	6.56	-	2	SLUsisma15	38.20	17.75	-

Per una copertura pari a 0.00 metri risultano le seguenti sollecitazioni:

Elemento strutturale	Sezione	SLU STR					SLU SISMA				
		ID Asta	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)	ID Asta	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)
soletta inferiore	nodo	1	SLU134	43.06	110.84	-235.84	1	SLUsisma31	3.65	34.15	-71.08
soletta inferiore	campata	1	SLU140	51.41	-102.45	-	1	SLUsisma27	2.44	-25.16	-
soletta superiore	nodo	3	SLU234	78.98	-97.76	200.91	3	SLUsisma43	19.29	-22.31	46.90
soletta superiore	campata	3	SLU136	38.34	70.20	-	3	SLUsisma31	13.84	12.92	-
pieдритти	nodo soletta inf	2	SLU134	100.83	-112.12	-108.37	2	SLUsisma31	47.21	-34.32	-54.74
pieдритти	nodo soletta sup	4	SLU234	222.10	106.03	-83.78	4	SLUsisma43	56.39	24.23	-20.68
pieдритти	mezzeria	2	SLU133	75.72	55.77	-	2	SLUsisma15	4.28	12.75	-

Risulta pertanto dimensionante la condizione con 0.00 metri di copertura.

Le sollecitazioni per gli SLE risultano:

Elemento strutturale	Sezione	SLE RARA				SLE FREQUENTE				SLE QUASI PERMANENTE			
		ID Asta	C.C.	N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	ID Asta	C.C.	N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	ID Asta	C.C.	N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)
soletta inferiore	nodo	1	SLEr41	30.84	80.62	1	SLEf21	22.55	23.83	1	SLEq3	22.05	7.77
soletta inferiore	campata	1	SLEr43	31.97	-74.30	1	SLEf17	22.96	-42.86	1	SLEq5	20.84	-8.28
soletta superiore	nodo	3	SLEr43	56.46	-70.79	3	SLEf23	6.28	-15.11	3	SLEq5	6.87	-3.55
soletta superiore	campata	3	SLEr41	27.11	51.11	3	SLEf15	3.62	33.16	3	SLEq3	5.65	3.58
piedritti	nodo soletta inf	2	SLEr41	75.48	-81.76	2	SLEf21	131.51	-30.59	2	SLEq3	29.60	-8.71
piedritti	nodo soletta sup	4	SLEr43	175.31	76.98	4	SLEf15	132.77	28.62	4	SLEq3	29.60	8.71
piedritti	mezzeria	2	SLEr41	60.73	39.86	2	SLEf12	17.36	1.98	2	SLEq3	20.66	0.60

## 10.1 Verifica soletta superiore

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.400 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-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
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.260 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.260 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.280 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a 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:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	337.50 MPa

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø20	(15.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø20	(15.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	44 di 54

Coprif.Lat. (dal baric.barre): 6.0 cm

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione  
Vy Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale  
MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	78.98	-97.76	200.91	0.00
2	38.34	70.20	0.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	56.46	-70.79
2	27.11	51.11

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	6.28	-15.11 (-55.56)
2	3.62	33.16 (54.69)

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	6.87	-3.55 (-60.29)
2	5.65	3.58 (59.10)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 16.0 cm  
Interferro massimo barre longitudinali: 22.0 cm [deve essere < 30.0]  
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 baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	45 di 54

N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm <sup>2</sup> ]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	78.98	-97.76	79.07	-148.54	1.519	5.4	---	---	31.4 (9.0)
2	S	38.34	70.20	38.57	144.65	2.061	24.7	---	---	31.4 (9.0)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
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)
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 compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	-0.00040	6.0	-0.01210	24.0
2	0.00350	30.0	-0.00047	24.0	-0.01240	6.0

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

Diametro staffe:	8	mm	
Passo staffe:	19.1	cm	[Passo massimo di normativa = 24.0 cm]
N.Bracci staffe:	5		
Area staffe/m :	13.2	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.4 cm <sup>2</sup> /m]

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro   Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	Ast
1	S	200.91	718.06	281.22	100.0  21.8	2.500	1.014	9.4
2	S	0.00	1035.68	112.69	100.0  21.9	1.000	1.007	0.0

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])
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 ([Mpa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	46 di 54

Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\phi/2)$  e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	7.33	0.0	0.00	8.6	-197.5	6.0	7.1	714	15.7	22.0
2	S	5.29	30.0	0.00	21.6	-147.0	24.0	7.2	720	15.7	22.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00137	0.00055	0.50	0.60	0.000592 (0.000592)	325	0.192 (0.20)	-56.67
2	S	-0.00102	0.00040	0.50	0.60	0.000441 (0.000441)	326	0.144 (0.20)	55.89

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.57	0.0	0.00	8.4	-44.0	6.0	7.2	722	15.7	22.0
2	S	3.42	30.0	0.00	21.9	-99.9	24.0	7.3	729	15.7	22.0

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00030	0.00012	0.50	0.60	0.000132 (0.000132)	326	0.043 (0.20)	-55.56
2	S	-0.00069	0.00026	0.50	0.60	0.000300 (0.000300)	328	0.098 (0.20)	54.69

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.37	0.0	0.00	10.7	-8.6	6.0	6.9	685	15.7	22.0
2	S	0.37	30.0	0.00	20.8	-9.1	24.0	7.0	696	15.7	22.0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00006	0.00003	0.50	0.40	0.000026 (0.000026)	318	0.008 (0.20)	-60.29
2	S	-0.00006	0.00003	0.50	0.40	0.000027 (0.000027)	321	0.009 (0.20)	59.10

## 10.2 Verifica soletta inferiore

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.400 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-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
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.260 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.260 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.280 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a 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:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	337.50 MPa

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5 $\phi$ 22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5 $\phi$ 22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.0	cm

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	43.06	110.84	-235.84	0.00
2	51.41	-102.45	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
---------	---	----

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	48 di 54

1	30.84	80.62
2	31.97	-74.30

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	22.55	23.83 (58.87)
2	22.96	-42.86 (-57.61)

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	22.05	7.77 (65.45)
2	20.84	-8.28 (-64.23)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.9	cm
Interfero netto minimo barre longitudinali:	15.8	cm
Interfero massimo barre longitudinali:	22.0	cm [deve essere < 30.0]
Copriferro netto minimo staffe:	4.1	cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
As Tot. Area complessiva armature long. pilastro [cm<sup>2</sup>]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	43.06	110.84	43.28	169.18	1.526	24.3	---	---	38.0 (9.0)
2	S	51.41	-102.45	51.15	-169.93	1.659	5.7	---	---	38.0 (9.0)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
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)  
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 compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	49 di 54

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00020	24.0	-0.01130	6.0
2	0.00350	0.0	-0.00019	6.0	-0.01125	24.0

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

Diametro staffe:	8	mm	
Passo staffe:	19.1	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	5		
Area staffe/m :	13.2	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm <sup>2</sup> /m]

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro   Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	Ast
1	S	-235.84	709.73	279.71	100.0  21.7	2.500	1.008	11.1
2	S	0.00	1030.23	111.84	100.0  21.7	1.000	1.009	0.0

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
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 ([Mpa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+ $\phi$ /2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	7.64	30.0	0.00	21.2	-197.4	24.0	7.1	706	19.0	22.0
2	S	7.04	0.0	0.00	8.8	-181.0	6.0	7.1	705	19.0	22.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	50 di 54

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00138	0.00057	0.50	0.60	0.000592 (0.000592)	306	0.181 (0.20)	57.15
2	S	-0.00126	0.00053	0.50	0.60	0.000543 (0.000543)	305	0.166 (0.20)	-57.29

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.27	30.0	0.00	20.8	-54.8	24.0	6.9	694	19.0	22.0
2	S	4.08	0.0	0.00	8.9	-103.2	6.0	7.0	703	19.0	22.0

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00038	0.00017	0.50	0.60	0.000164 (0.000164)	303	0.050 (0.20)	58.87
2	S	-0.00072	0.00030	0.50	0.60	0.000310 (0.000310)	305	0.094 (0.20)	-57.61

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.75	30.0	0.00	19.3	-14.1	24.0	6.5	646	19.0	22.0
2	S	0.79	0.0	0.00	11.4	-15.6	6.0	6.5	653	19.0	22.0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00010	0.00006	0.50	0.40	0.000042 (0.000042)	294	0.012 (0.20)	65.45
2	S	-0.00011	0.00006	0.50	0.40	0.000047 (0.000047)	295	0.014 (0.20)	-64.23

### 10.3 Verifica piedritti

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.400 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-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
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.260 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.260 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.280 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
-----------	-------	-------

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	51 di 54

Resist. caratt. a snervamento $f_{yk}$ :	450.00	MPa
Resist. caratt. a rottura $f_{tk}$ :	450.00	MPa
Resist. a snerv. di progetto $f_{yd}$ :	391.30	MPa
Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :	391.30	MPa
Deform. ultima di progetto $E_{pu}$ :	0.068	
Modulo Elastico $E_f$ :	200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Comb.Rare - $S_f$ Limite:	337.50	MPa

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5 $\phi$ 20	(15.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5 $\phi$ 20	(15.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.2	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.2	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	7.2	cm

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			

N° Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	100.83	-112.12	-108.37	0.00
2	222.10	106.03	-83.78	0.00
3	75.72	55.77	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N° Comb.	N	Mx
1	-81.76	0.00
2	76.98	0.00
3	39.86	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N° Comb.	N	Mx
1	131.51	-30.59 (-66.31)
2	132.77	28.62 (67.73)
3	17.36	1.98 (91.52)

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	52 di 54

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	29.60	-8.71 (-62.83)
2	29.60	8.71 (62.83)
3	20.66	0.60 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	13.6	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	21.4	cm [deve essere < 30.0]
Copriferro netto minimo staffe:	5.4	cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
As Tot. Area complessiva armature long. pilastro [cm<sup>2</sup>]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	100.83	-112.12	100.53	-146.87	1.310	6.1	---	---	31.4 (9.0)
2	S	222.10	106.03	222.18	157.40	1.484	23.6	---	---	31.4 (9.0)
3	S	75.72	55.77	75.44	144.68	2.594	24.0	---	---	31.4 (9.0)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
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)  
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 compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	-0.00066	7.2	-0.00968	22.8
2	0.00350	30.0	-0.00044	22.8	-0.00897	7.2
3	0.00350	30.0	-0.00071	22.8	-0.00983	7.2

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

Diametro staffe:	8	mm	
Passo staffe:	19.1	cm	[Passo massimo di normativa = 24.0 cm]
N.Bracci staffe:	5		
Area staffe/m :	13.2	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.4 cm <sup>2</sup> /m]

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02 D 78	CL	IN0000 009	A	53 di 54

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro   Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	Ast
1	S	-108.37	672.32	262.30	100.0  20.4	2.500	1.018	5.4
2	S	-83.78	681.91	260.54	100.0  20.2	2.500	1.039	4.2
3	S	0.00	971.90	105.06	100.0  20.4	1.000	1.013	0.0

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])
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 ([Mpa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\phi/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	30.0	0.00	0.0	-26.0	22.8	30.0	3000	31.4	21.4
2	S	0.22	30.0	0.22	0.0	3.3	22.8	0.0	720	0.0	0.0
3	S	0.11	30.0	0.11	0.0	1.7	22.8	0.0	0	0.0	0.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00013	-0.00013	1.00	0.60	0.000078 (0.000078)	860	0.067 (0.20)	0.00
2	S	0.00002	0.00002	---	---	---	---	---	0.00
3	S	0.00001	0.00001	---	---	---	---	---	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.47	0.0	0.00	11.1	-55.5	7.2	6.3	633	15.7	21.4

