

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1 + 2

SINGOLE OPERE DI LINEA

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747

Relazione di calcolo scatolare 2x2

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS3Z	00	D	26	CL	IN5200	001	B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. INTEGRA	Gennaio 2020	M.SALLEOLINI	Gennaio 2020	A. BARRECA	Gennaio 2020	F. DE Mag	HI 2020
B	1° AGG. A CONSEGNA CSLLPP	C. INTEGRA	Maggio 2020	M.SALLEOLINI	Maggio 2020	A. BARRECA	Maggio 2020	ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD Det. Ing. Francesco Saccò Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma n. 25372/Str.	

File: RS3Z00D26CLIN5200001B

n. Elab.:

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. DESCRIZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
<b>5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>8</b>
5.1 Profondità della falda.....	8
<b>6. ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>9</b>
6.1 Pesì propri.....	9
6.2 Permanenti non strutturali.....	9
6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario).....	10
6.4 Azione di avviamento / frenatura .....	13
6.5 Azione di serpeggio .....	13
6.6 Azione del sisma.....	13
6.7 Ritiro del calcestruzzo .....	16
6.8 Variazione termica.....	16
6.9 Spinta statica del terreno.....	16
6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale .....	17
6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche .....	17
<b>7. COMBINAZIONE DEI CARICHI.....</b>	<b>18</b>
<b>8. VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>20</b>
8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione.....	20
8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio.....	20
8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio.....	22
<b>9. ANALISI STRUTTURALE .....</b>	<b>23</b>
9.1 Modellazione strutturale : Scatolare .....	23

9.2	Analisi dei carichi .....	25
9.3	Combinazioni.....	28
9.4	Sollecitazioni .....	31
9.5	Verifiche strutturali.....	35
9.5.1	Verifica piedritti .....	35
9.5.2	Verifica soletta superiore.....	41
9.5.3	Verifica soletta inferiore.....	47
<b>10.</b>	<b>INCIDENZA SCATOLARE .....</b>	<b>53</b>
<b>11.</b>	<b>DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2) .....</b>	<b>54</b>
11.1	Tipo di analisi svolte.....	54
11.2	Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	54
11.3	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	54



**PROGETTO DEFINITIVO  
DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA  
DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	2 di 57

## **1. PREMESSA**

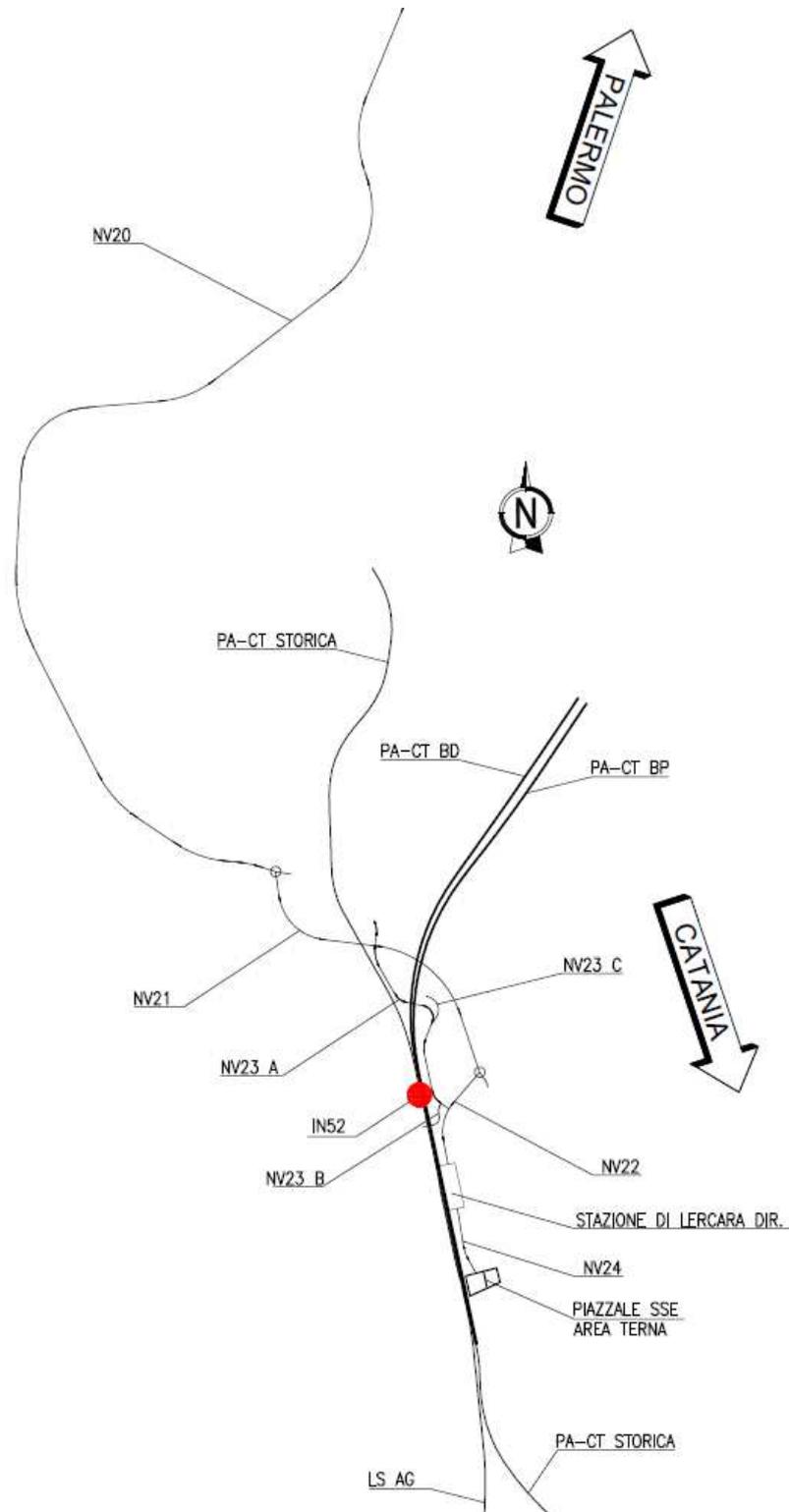
Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla progettazione definitiva del collegamento Palermo-Catania, raddoppio tratta Fiumetorto-Lercara Diramazione, appartenente alla Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

Nella presente relazione è riportato il calcolo strutturale del tombino di linea IN52 alla prgr. 28+747 di geometria  $2.0 \times 2.0 \times 0.3$  m.

Segue l'ubicazione dell'opera.

IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	3 di 57



## 2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale dell'opera scatolare IN52 alla progressiva 28+747, utilizzabile per attraversamenti ferroviari, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Geometria del tombino			
Larghezza totale	Ltot	2.60	m
Altezza totale	Htot	2.60	m
Spessore soletta superiore	ss	0.30	m
Spessore piedritti	sp	0.30	m
Spessore soletta inferiore	sf	0.30	m
Luce libera	Lint	2.00	m
Altezza libera	Hint	2.00	m

Il tombino presenta un ricoprimento di circa 4.55 m in asse binario di progetto.

La struttura sarà realizzata in c.a. gettato in opera senza giunti intermedi.

Geometria del Ricoprimento			
Ballast+Armamento	Hb	0.77	m
Ricoprimento	Hsc	4.55	m
Imperm. più massetto cls sp. 5 cm	Hr	0.05	m

Si trascura a favore di sicurezza la presenza del riempimento interno.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA</b> <b>DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2</b>												
IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747 <i>Relazione di calcolo scatolare 2x2</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3Z</td> <td>00</td> <td>D 26</td> <td>CLIN5200001</td> <td>B</td> <td>5 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	5 di 57
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	5 di 57								

### 3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: “Manuale di progettazione delle opere civili” del 22/12/2017.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: Sezione 2 – Ponti e Strutture

Riferimenti STI:

- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	6 di 57

#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### MAGRONE - C12/15

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	$R_{ck}$		N/mm <sup>2</sup>	15
Contenuto minimo cemento			kg/m <sup>3</sup>	150

##### CALCESTRUZZO CLASSE 30/37

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	$R_{ck}$		N/mm <sup>2</sup>	37.0
Resistenza cilindrica a compressione	$f_{ck}$	$0.83 * R_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	30.7
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm}$	$f_{ck}+8$	N/mm <sup>2</sup>	38.7
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	$\alpha_{cc} (t>28gg)$		-	0.85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	$\gamma_c$		-	1.5
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd}$	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm <sup>2</sup>	17.4
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctm}$	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm <sup>2</sup>	2.9
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctk}$	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm <sup>2</sup>	2.1
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd}$	$f_{ctk} / \gamma_c$	N/mm <sup>2</sup>	1.4
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm}$	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm <sup>2</sup>	3.5
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	$f_{ctk}$	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm <sup>2</sup>	2.5
Modulo elastico	$E_{cm}$	$22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$	N/mm <sup>2</sup>	33019
Peso proprio	$\gamma_c$		N/m <sup>3</sup>	25000
Coefficiente di Poisson	$\nu$		-	0.2
Coefficiente di aderenza	$\eta$		-	1.0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	$f_{bk}$	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm <sup>2</sup>	4.6
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	$f_{bd}$	$f_{bk} / \gamma_c$	N/mm <sup>2</sup>	3.1

##### Acciaio ad aderenza migliorata B450C

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza caratteristica di rottura	$f_{t nom}$		N/mm <sup>2</sup>	540
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{y nom}$		N/mm <sup>2</sup>	450
Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio	$\gamma_s$		-	1.15
Resistenza di calcolo	$f_{yd}$	$f_{yk} / \gamma_s$	N/mm <sup>2</sup>	391.3
Modulo elastico	$E_s$		N/mm <sup>2</sup>	206000
<b>Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.</b>				
Tensione massima di esercizio per l'acciaio	$\sigma_s$	$0.75 * f_{yk}$	N/mm <sup>2</sup>	337.5

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 21.01.2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

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

Classe di esposizione: XA1

Copriferro di progetto: 50 mm

Condizioni ambientali: Aggressive

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica RARA per gli SLE dovrà risultare:

- $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 17.01.2018.

Con  $\delta_f$  apertura delle fessure e  $w_1$  valore limite dell'apertura delle fessure.

$w_1 = 0.2$  mm

$w_2 = 0.3$  mm

$w_3 = 0.4$  mm

## 5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Gli elaborati di riferimento sono:

GEOTECNICA																																				
Relazione geotecnica generale linea ferroviaria																		R	S	3	Z	0	0	D	2	6	G	E	O	C	0	0	0	0	0	1
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 1/2																		R	S	3	Z	0	0	D	2	6	F	7	O	C	0	0	0	0	0	1
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 2/2																		R	S	3	Z	0	0	D	2	6	F	7	O	C	0	0	0	0	0	2

Sulla base delle indagini svolte, sintetizzate nei profili geotecnici lungo linea, in corrispondenza della progressiva si evince la seguente stratigrafia:

### Terreno di fondazione

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]			Cu [kPa]			c' [kPa]	Vs [m/s]			Vs,eq [m/s]	Categoria di sottosuolo	G <sub>0</sub> [MPa]			E <sub>i</sub> /E <sub>u</sub> [MPa]		E <sub>i</sub> [MPa]
					max	min	di prog.	max	min	di prog.	di prog.	max	min	di prog.			max	min	di prog.	di prog.	di prog.	
2	2SNV02 2SNV03	da 0 a 6m	C sup	21	35	24	30	350	7	80	27	489	129	324	460	B	488	34	70	64	61	
		da 6 a 12m	C sup	21	35	24	30	350	7	150	27	489	129	324	460	B	488	34	100	120	87	
		da 12 a 18m	C sup	21	35	24	30	350	7	280	27	489	129	324	460	B	488	34	180	224	156	
		da 18 a 24m	Sa,2	21	35	21	31	0	0	0	0	385	226	338	460	B	302	104	200	173	173	
		da 24 in poi	C inf	22	35	24	25	350	7	280	30	489	129	324	460	B	488	34	220	224	191	

### 5.1 Profondità della falda

Ai fini dell'analisi dell'opera non si è considerata la presenza della falda idrica in quanto il livello di falda è posto al di sotto del piano di fondazione dell'opera.

## 6. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico. Tutti i carichi elementari si riferiscono a un concio longitudinale di larghezza unitaria, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

### 6.1 Pesì propri

Il peso dei differenti elementi strutturali viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

- Soletta di copertura;
- Soletta di fondazione;
- Piedritti.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

Calcestruzzo armato:	$\gamma_{c.a.}$	= 25.00 kN/m <sup>3</sup>
Rilevato:	$\gamma_{ril}$	= 20.00 kN/m <sup>3</sup>
Ballast + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18.00 kN/m <sup>3</sup>

### 6.2 Permanenti non strutturali

Il peso dei carichi permanenti in copertura è stato calcolato considerando i differenti spessori di ballast e supercompattato, ciascuno per il suo peso dell'unità di volume:

$$q_{pp} = h_b \gamma_b + h_{sc} \gamma_{sc}$$

dove:

- $h_b$  = spessore del ballast;
- $\gamma_b$  = peso specifico del ballast;
- $H_{sc}$  = spessore del super compattato;
- $\gamma_b$  = peso specifico del super compattato.

### 6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario)

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno SW/2 pari a 150 kN/m x 1 e il carico verticale dovuto al treno LM71 pari a 250 kN / 1.6 m x 1.1 = 172.0 kN/m uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura.

Per ponti di categoria A si hanno i seguenti valori del coefficiente di adattamento.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

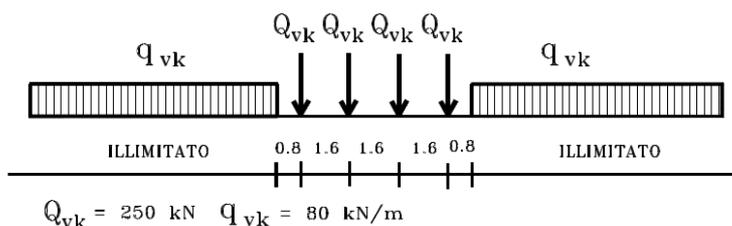
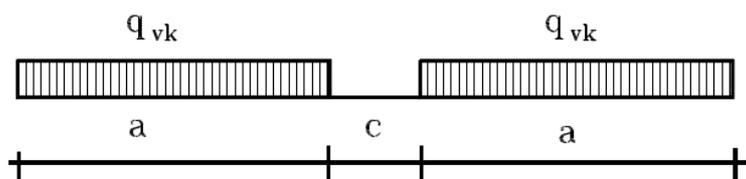


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



Tipo di Carico	$q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 6.2– Treno di carico SW

### Coefficiente di amplificazione dinamica $\Phi$ :

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per linee a ridotto standard manutentivo  $\Phi$  sarà:

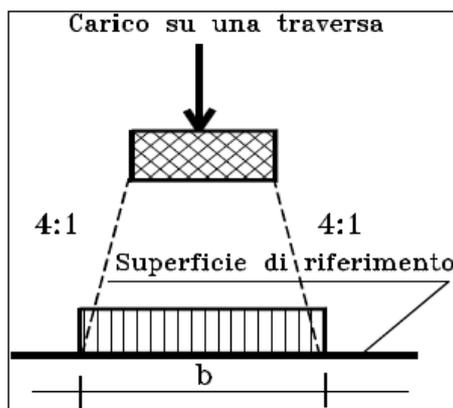
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

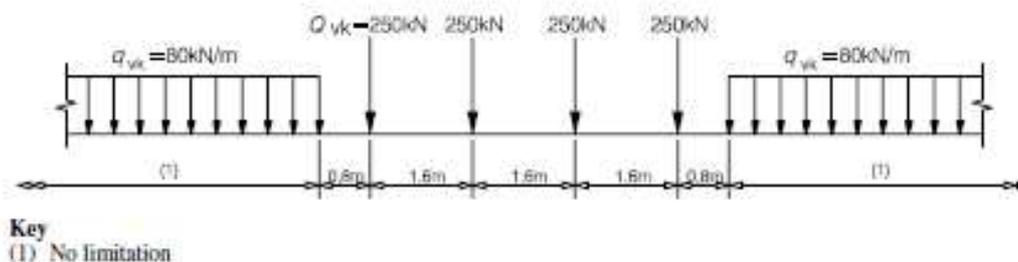
$L_\Phi$  rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri.

### Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili:

La diffusione dei carichi attraverso ballast avviene con pendenza 4:1, attraverso il ricoprimento con angolo di attrito mentre, nella soletta in cls con pendenza 1:1.



Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



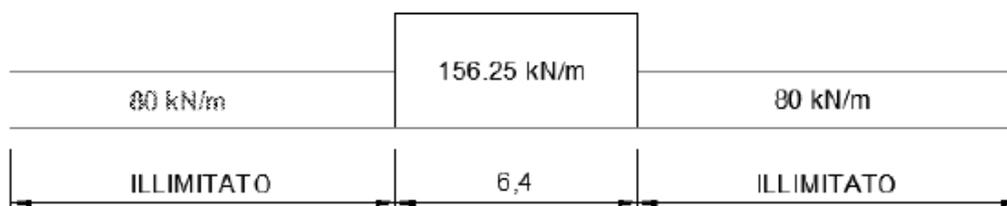
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

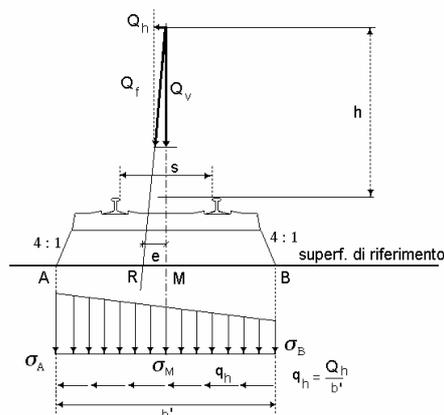
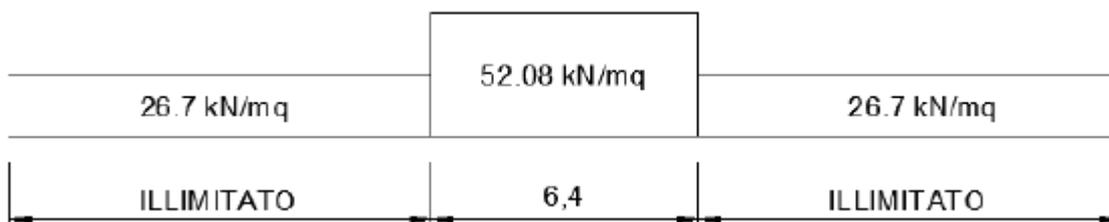
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	12 di 57

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



#### **6.4 Azione di avviamento / frenatura**

Per ogni treno di carico si associano le azioni di avviamento e frenatura agenti sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze si considerano uniformemente distribuite sulla lunghezza di binario.

I valori caratteristici considerati sono i seguenti:

- Avviamento  $Q_{1a,k} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$  per LM71 ed SW2

#### **6.5 Azione di serpeggio**

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a  $Q_{sk}=100 \text{ kN}$ . Tale valore deve essere moltiplicato per  $a$ , (se  $a>1$ ), ma non per il coefficiente  $F$ . Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale azione viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali.

#### **6.6 Azione del sisma**

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati, a vantaggio di sicurezza, i seguenti valori:  $V_N=75$  anni e classe d'uso III a cui corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$ .

La vita di riferimento  $V_R$  è quindi pari a 112.5 anni.

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$
- Vita nominale  $V_N = 75$  anni
- Categoria di suolo: B
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura  $q = 1$

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati :

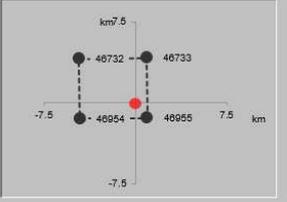
### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 13.6057  
 LATITUDINE: 37.748

Ricerca per comune  
 REGIONE: Sicilia  
 PROVINCIA: Palermo  
 COMUNE: Lercara Friddi

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".

INTRO    **FASE 1**    FASE 2    FASE 3

Di seguito si riportano gli spettri di risposta orizzontale e verticale allo Stato limite di salvaguardia della vita SLV utilizzati per il calcolo dell'azione sismica. Con tale azione sismica agente, le forze risultanti trasmesse dall'impalcato al piano appoggi della spalla in corrispondenza della sommità del muro di testata sono riportate al paragrafo successivo, sotto le voci **Ex**, **Ey** ed **Ez**.

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

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:
 

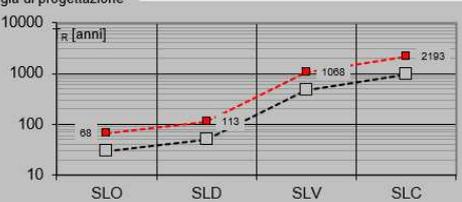
SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>

Stati limite ultimi - SLU:
 

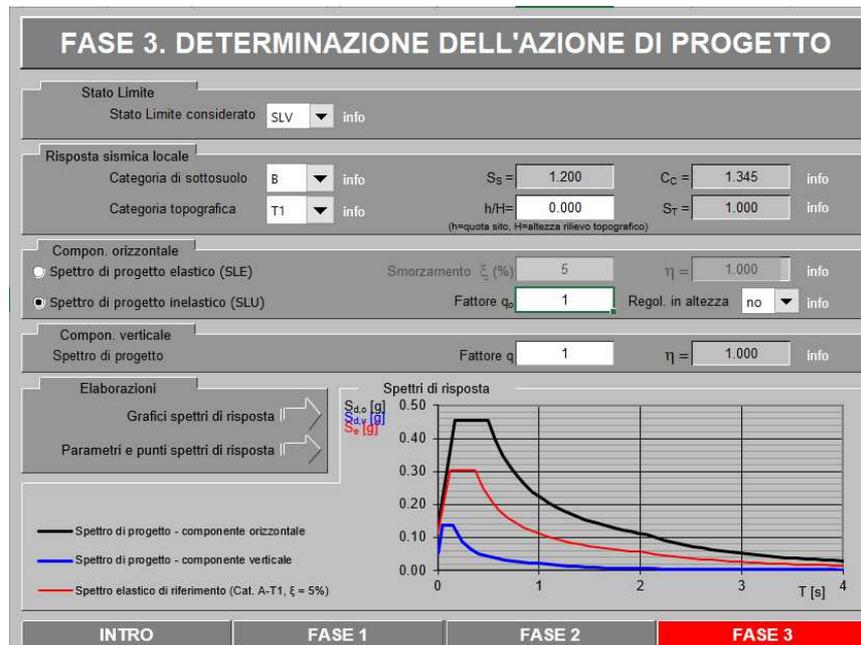
SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

Elaborazioni:  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO  
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie  
 - - - - - Strategia scelta

Strategia di progettazione  


INTRO    FASE 1    **FASE 2**    FASE 3



Di seguito si riporta a titolo di esempio lo **spettro di progetto** per lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV** relativamente alle componenti **orizzontali**, con coefficiente di smorzamento strutturale canonico pari al 5%.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo **SLV**

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_s$	0.114 g
$F_s$	2.652
$T_c$	0.266 s
$S_T$	1.200
$C_c$	1.345
$S_T$	1.000
$q$	0.800

Parametri dipendenti	
$S$	1.200
$\eta$	1.250
$T_p$	0.164 s
$T_c$	0.492 s
$T_0$	2.056 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_1 \cdot S_2$  (NTC-09 Eq. 3.2.5)  
 $\eta = \sqrt{10 \cdot (\xi + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q$  (NTC-09 Eq. 3.2.4, 3.2.3.5)  
 $T_0 = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.4)  
 $T_c = C_c \cdot T_c^*$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)  
 $T_0 = 4.0 \cdot a_s / g + 1.6$  (NTC-07 Eq. 3.2.4)

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-09 Eq. 3.2.4)

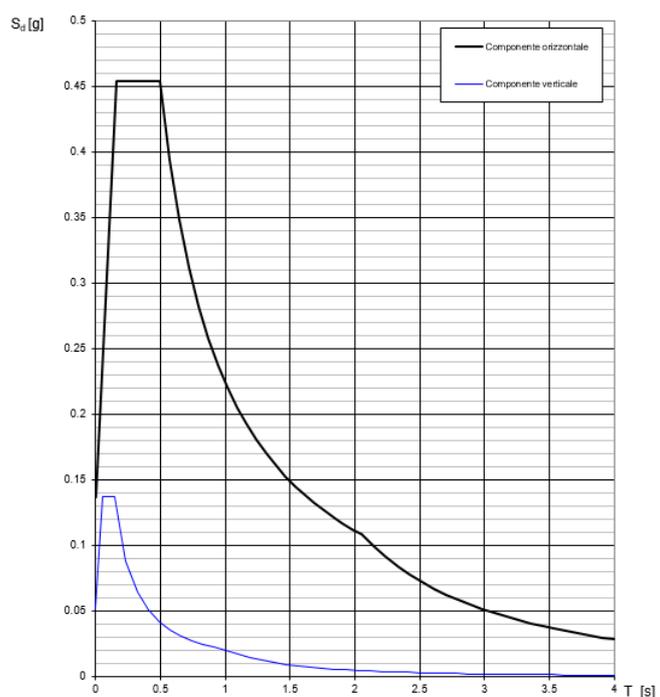
$0 \leq T < T_0$      $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s \left[ \frac{T}{T_0} + \frac{1}{\eta \cdot E_s} \left( 1 - \frac{T}{T_0} \right) \right]$   
 $T_0 \leq T < T_c$      $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s$   
 $T_c \leq T < T_p$      $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s \left( \frac{T_c}{T} \right)$   
 $T_p \leq T$      $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s \left( \frac{T_p}{T} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per lo Stato Limite Ultimo è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  moltiplicando da  $\eta$ , dove  $q$  il fattore di struttura. (NTC-09 §3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	$S_e$ [g]
0.000	0.137
0.164	0.453
0.492	0.453
0.567	0.294
0.641	0.248
0.716	0.212
0.790	0.283
0.865	0.258
0.939	0.233
1.013	0.220
1.088	0.205
1.162	0.192
1.237	0.180
1.311	0.170
1.386	0.161
1.460	0.153
1.535	0.146
1.609	0.139
1.684	0.132
1.758	0.127
1.832	0.122
1.907	0.117
1.982	0.113
2.056	0.109
2.149	0.099
2.241	0.091
2.334	0.084
2.426	0.078
2.519	0.072
2.611	0.067
2.704	0.063
2.797	0.059
2.889	0.055
2.982	0.052
3.074	0.049
3.167	0.046
3.259	0.042
3.352	0.041
3.445	0.039
3.537	0.037
3.630	0.035
3.722	0.033
3.815	0.032
3.907	0.030
4.000	0.029

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV



## 6.7 Ritiro del calcestruzzo

Gli effetti del ritiro del calcestruzzo sono valutati impiegando i coefficienti indicati al punto 11.2.10.6 delle NTC2018. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione per ritiro da essiccamento e della deformazione da ritiro autogeno. Il ritiro è stato applicato mediante una variazione termica equivalente pari a 10°, ed un umidità relativa del 75% a 7 gg.

Il fenomeno del ritiro è stato applicato solo alla soletta di copertura nel caso dello scatolare mentre viene trascurato nel muro.

## 6.8 Variazione termica

La variazione termica applicata sulla struttura è pari a  $\Delta T = +15^{\circ}\text{C}$ , con un variazione termica a aggiuntiva a farfalla pari a  $\Delta T = +5^{\circ}\text{C}$  applicata sulla soletta di copertura. Per ricoprimenti superiori ad 1,5m non si applica alcuna variazione termica.

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} = 0.00001$$

## 6.9 Spinta statica del terreno

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a  $S = 1/2 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot H^2$ , applicata ad 1/3 dal basso.

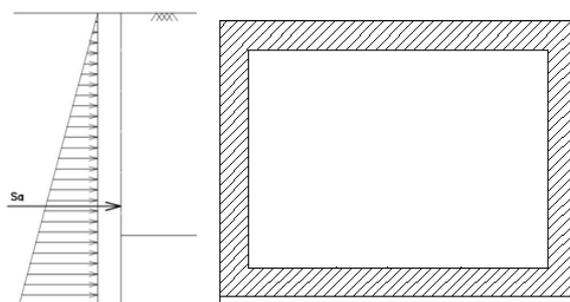


Figura 6.3 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo  $k_0 = 1 - \sin \phi'$ , dove  $\phi'$  è l'angolo di attrito assunto. In caso di falda il peso specifico del terreno è stato sostituito da quello efficace.

### 6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo, si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a  $S=k_0 \cdot q \cdot H$ , con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

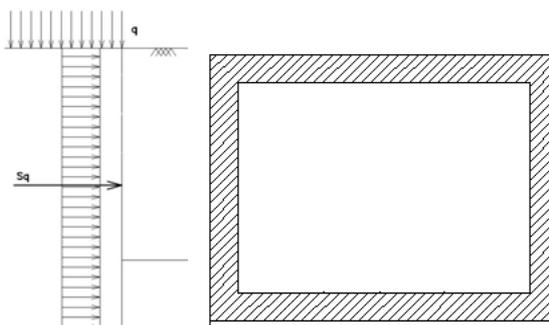


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

### 6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovraspinta sismica è calcolata con la teoria di Wood, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad  $H/2$ .

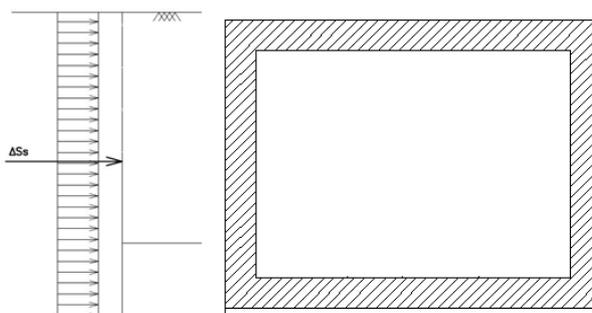


Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

## 7. COMBINAZIONE DEI CARICHI

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (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 sismica:

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

combinazione eccezionale:

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

combinazione Rara (SLE irreversibile):

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

combinazione Frequente (SLE reversibile):

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

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

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

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella seguente.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	↓	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
(1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc...)  
(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

*Tab. 1 – Valutazione dei carichi da traffico*

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione  $\psi$  delle tabelle seguenti.

		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

<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> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 2 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, Eccezionali e Sismica

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	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	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

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

### 8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-presso-flessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

### 8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento i seguenti valori della resistenza di calcolo:

- Resistenza di progetto dell'elemento privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

- Resistenza di progetto a "taglio trazione":

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

- Resistenza di progetto a "taglio compressione":

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v_{fd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	21 di 57

Nelle espressioni precedenti i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

$A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$  è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

$A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

$s$  è il passo delle staffe;

$\alpha$  è l'angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$v_{fd}$  è la resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $\nu=0.5$ );

$\alpha_c = 1$  coefficiente maggiorativo per membrature non compresse.

### 8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.55 f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura delle fessure nella combinazione caratteristica Rara. I valori nominali di riferimento sono:

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

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

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

## 9. ANALISI STRUTTURALE

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del SAP2000, un Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method) capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte in precedenza, le sollecitazioni complessive agenti sugli elementi strutturali al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle Normative di riferimento.

Il calcolo della struttura è stato effettuato considerando una striscia di calcolo pari ad 1m disposta ortogonalmente all'asse longitudinale dello scatolare. In caso di obliquità  $\emptyset$  dello scatolare rispetto alla linea ferroviaria il calcolo è stato eseguito analizzando sempre una striscia di larghezza unitaria, assumendo però come luce di calcolo quella misurata in parallelo alla linea ferroviaria tra gli assi dei piedritti valutati lungo lo "spessore corrente" (spessore corrente=spessore piedritto/cos $\emptyset$ ). In tal caso le stesse verifiche di resistenza sono state condotte con riferimento allo spessore corrente.

Convenzione assi

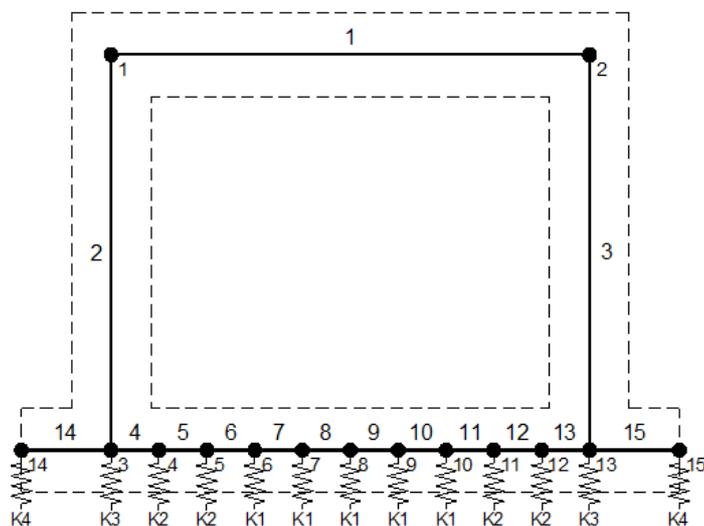
**x** = asse trasversale dello scatolare

**y** = asse longitudinale dello scatolare

**z** = asse verticale dello scatolare

### 9.1 Modellazione strutturale : Scatolare

Il modello di calcolo attraverso il quale viene discretizzata la struttura è quello di telaio chiuso. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite molle alla Winkler.





**PROGETTO DEFINITIVO**  
**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**  
**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA**  
**DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	24 di 57

La soletta inferiore viene divisa in elementi per poter schematizzare, tramite molle applicate, l'interazione terreno- struttura.

Per la definizione delle precedenti costanti si è fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica a disposizione.

I valori di resistenza del terreno assunti nei calcoli che seguono sono riportati nella seguente tabella:

V <sub>sat</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Y <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	φ [°]			c <sub>u</sub> [°]			V <sub>s</sub> [m/s]			Categoria di sottosuolo	G <sub>u</sub> [MPa]			E' <sub>op</sub> [MPa]		
		max	min	scelto	max	min	scelto	max	min	scelto		max	min	scelto			
20	18	35	24	28	259	18	66	246	129	171	B	124	34	62	26	7	11

Per la rigidezza delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale Kw pari a 2500 kN/m<sup>3</sup>. Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

$$k_n = \frac{E}{(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_f}$$

Dove:

- E                                    modulo elastico del terreno
- ν                                    coefficiente di Poisson
- B                                    larghezza della fondazione
- L                                    lato maggiore della fondazione
- C<sub>t</sub>                                    fattore di forma (Bowles, 1960)
- K<sub>w</sub>                                    coefficiente di sottofondo alla Winkler

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle:

Interasse molle	i	(0.30/2 + 2.00 + 0.30/2) / 10 =	0.23 m
Molle centrali	K1	2500 · 0.23 =	575 kN/m
Molle intermedie	K2	1.5 · 2500 · 0.23 =	863 kN/m
Molle laterali	K3	2.0 · 2500 · (0.23/2 + 0.30/2) =	1 325 kN/m
Molle risolto	K4	-	0 kN/m

La rigidezza delle molle in corrispondenza dei piedritti è stata aumentata, seguendo le indicazioni riportate nella letteratura tecnica, al fine di tenere in conto l'irrigidimento apportato dai piedritti al solettone di fondo.

## 9.2 Analisi dei carichi

### Geometria

#### Caratteristiche materiali e terreno

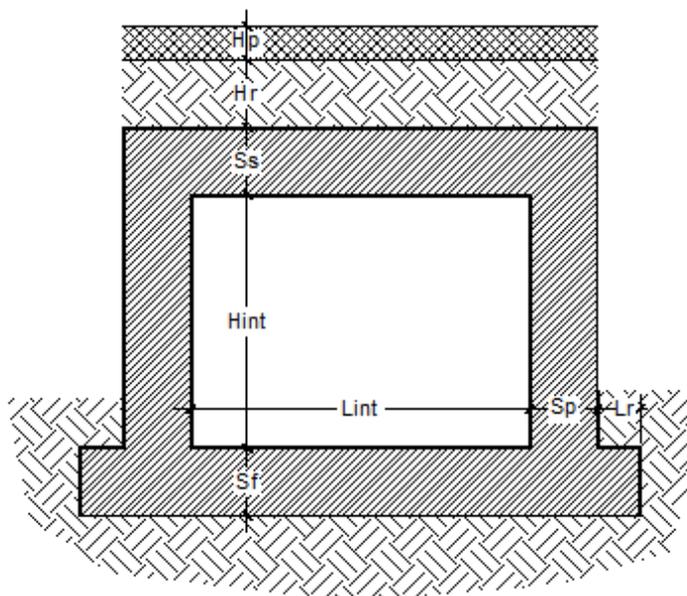
Calcestruzzo armato - Peso specifico	$\gamma$		25	kN/m <sup>3</sup>
Calcestruzzo armato - Tipo			C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	$R_{ck}$		37	N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	$f_{ck}$	$0.83 \cdot 37 =$	30.7	N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	$E$		33000	N/mm <sup>2</sup>
Ballast - Peso specifico	$\gamma_b$		18	kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato - Peso specifico	$\gamma$		20	kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	$\varphi$		35	°
Terreno di fondazione	$K_w$		2500	kN/m <sup>3</sup>
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive	

#### Ricoprimento

Spessore ballast+armamento	$H_b$	0.77	m
Spessore medio traversina+binario	$H_t$	0.40	m
Spessore ballast sotto la traversina		0.37	m
Spessore del rinterro	$H_r$	4.55	m

#### Geometria

Spessore soletta superiore	$S_s$	0.30	m
Spessore soletta di fondazione	$S_f$	0.30	m
Spessore piedritti	$S_p$	0.30	m
Altezza netta	$H_{int}$	2.00	m
Larghezza netta	$L_{int}$	2.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	$L_r$	0.00	m



Tab. 4: Geometria del modello

### Azioni elementari applicate

#### **Carichi permanenti (Condizione *PERM*)**

Soletta superiore					
Peso ballast	Ps	$0.77 \cdot 18 =$		13.86	kN/m <sup>2</sup>
Peso del rinterro	Pr	$4.55 \cdot 20 =$		91.00	kN/m <sup>2</sup>
Totale				<b>104.86</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Risvolti soletta inferiore					
Peso ballast	Ps	-		0.00	kN/m <sup>2</sup>
Peso del rinterro	Pr	-		0.00	kN/m <sup>2</sup>
Totale				<b>0.00</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

#### **Carichi accidentali sulla copertura LM71 (Condizioni *ACC-M71* e *ACC-T71*)**

Coefficiente dinamico					
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	$L_{\phi}$	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (2.15 + 2.30 + 2.15)$		2.86	m
Coefficiente dinamico	$\Phi_3$	$= 1.35$ se $L_{int} \leq 8$ m e $H_{int} \leq 5$ m		1.00	
Qvk					
Coefficiente di adattamento	$\alpha$			1.10	
Larghezza traversa	Lt			2.40	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.37/4 + 4.55 \times \text{TAN}(35^\circ) + 0.30/2) =$		9.26	m
Impronta di carico x	Ld2	$0.8 + 1.6 + 1.6 + 1.6 + 0.8 =$		6.40	m
Carico Qvk (totale)				1000	kN
Carico Qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.00 \cdot 1000 / (9.26 \cdot 6.40) =$		<b>18.57</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
qvk					
Carico qvk				80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.00 \cdot 80 / 9.26 =$		<b>9.51</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

#### **Carichi accidentali sulla copertura SW/2 (Condizioni *ACC-MSW* e *ACC-TSW*)**

Coefficiente di adattamento	$\alpha$			1.00	
Carico qvk				150	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.00 \cdot 150 / 9.26 =$		<b>16.20</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Per il calcolo della lunghezza caratteristica si fa riferimento a:

Caso 5.3 pag. 41 di 481 Manuale Parte II - Sezione II - Ponti

IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	27 di 57

#### Avviamento e frenatura (Condizione *AVV*)

Q1ak (= 33 / Ld1)  $33 / 9.26 =$  **3.56 kN/m<sup>2</sup>**

#### Azione termica (Condizione *TERM*)

Variazione termica uniforme	$\Delta T_U$		<b>0</b> °
Variazione termica a farfalla	$\Delta T_F$		<b>0</b> °
Variazione termica uniforme di calcolo	$\Delta T_{U*}$	$0 / 2 =$	0.00 °
Variazione termica a farfalla di calcolo	$\Delta T_{F*}$	$0 / 2 =$	0.00 °

#### Ritiro (Condizione *RITIRO*)

Ritiro applicato alla sol. Superiore  $\Delta T_R$  **-10** °

#### Spinta del terreno (Condizioni *SPTSX* e *SPTDX*)

K0		$1 - \text{sen}(35^\circ) =$	0.426
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.426 \cdot 104.86 =$	44.71 kN/m <sup>2</sup>
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.426 \cdot (104.86 + 20 \cdot 0.30/2) =$	<b>45.99 kN/m<sup>2</sup></b>
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.426 \cdot [104.86 + 20 \cdot (0.30+2.00+0.30)/2] =$	<b>65.61 kN/m<sup>2</sup></b>
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.426 \cdot [104.86 + 20 \cdot (0.30+2.00+0.30)] =$	66.89 kN/m <sup>2</sup>
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(44.71+45.99)/2 \cdot 0.30/2$	<b>6.80 kN/m</b>
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(65.61+66.89)/2 \cdot 0.30/2$	<b>9.94 kN/m</b>

#### Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni *SPACCSX* e *SPACCDX*)

Spinta dovuta al q1  $p \quad 0.426 \cdot 1.1 \cdot 1000 / (9.26 \cdot 6.40) =$  **7.92 kN/m<sup>2</sup>**

#### Spinta del carico accidentale SW/2 (Condizioni *SPACCSX* e *SPACCDX*)

Spinta dovuta al q1  $p \quad 0.426 \cdot 1 \cdot 150 / (9.26 \cdot 6.40) =$  **1.08 kN/m<sup>2</sup>**

#### Sisma orizzontale (Condizione *SISMAH*)

Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV
Vita nominale	$V_N$		<b>75</b> anni
Classe d'uso			<b>III</b>
Coefficiente $C_U$	$C_U$		1.5
Periodo di riferimento	$V_R$		112.5 anni
Accelerazione orizzontale	$a_g/g$		<b>0.114</b>
Amplificazione spettrale	$F_o$		<b>2.652</b>
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	<b>B</b>
Coeff. Amplificazione stratigrafica	$S_s$		1.200
Coeff. Amplificazione topografica	$S_t$		<b>1</b>
Coefficiente S	$S = S_s \cdot S_t$		1.200
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = a_g/g \cdot S$		0.137
Fattore di struttura	$q$		<b>1.00</b>
Coeff. sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$		0.137
Coeff. sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$		0.068

Carico accidentale totale gravante sulla cop.  $1.1 \cdot 1000 / (9.26 \cdot 6.40) \cdot 2.60 + 1.1 \cdot 80 / 9.26 \cdot 2.60 =$  **73.0 kN/m**

Forza orizz. sulla sol. di cop.  $F_Hs \quad 0.137 \cdot (0.30 \cdot 25 + 104.86 + 0.2 \cdot 73.0 / 2.30) / 1.00 =$  **16.24 kN/m<sup>2</sup>**

Forza orizz. sui piedritti  $F_Hp \quad 0.137 \cdot (0.30 \cdot 25) / 1.00 =$  **1.03 kN/m<sup>2</sup>**

#### Sisma verticale (Condizione *SISMAV*)

Forza vert. sulla sol. di cop.  $F_Vs \quad 0.068 \cdot (0.30 \cdot 25 + 104.86 + 0.2 \cdot 73.0 / 2.30) / 1.00 =$  **8.12 kN/m<sup>2</sup>**

#### Spinta del terreno in fase sismica (Condizione *SPSDX*)

Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (\text{Hint} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.137 \cdot 20 \cdot 7.92^2$	<b>171.6</b> kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H = 171.6 / 2.30$	<b>74.62</b> kN/m <sup>2</sup>



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**  
**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA**  
**DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
 Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA LOTTO FASE-ENTE DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS3Z 00 D 26 CLIN5200001 B 28 di 57

**9.3 Combinazioni**

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPQSX71	SPQDX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPQSXSX	SPQDXSX
01	01S1-11M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
02	02S1-11T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
03	03S1-12M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
04	04S1-12T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
05	05S1-13M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
06	06S1-13T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
07	07S1-14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
08	08S1-15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
09	09S1-16S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0
10	10S1-17S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45
11	11S1-18S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45
12	12S1-19S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45
13	13S1-20S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45
14	14S1-21M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
15	15S1-21T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
16	16S1-22M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
17	17S1-22T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
18	18S1-23M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
19	19S1-23T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
20	20S1-24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
21	21S1-25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
22	22S1-26S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0
23	23S1-27S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
24	24S1-28S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
25	25S1-29S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
26	26S1-30S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
27	27S1T11M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
28	28S1T11T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
29	29S1T12M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
30	30S1T12T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
31	31S1T13M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
32	32S1T13T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
33	33S1T14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
34	34S1T15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
35	35S1T16S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	0
36	36S1T17S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16
37	37S1T18S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16
38	38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0.00	1.16	1.16
39	39S1T20S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0.00	1.16	1.16
40	40S1T21M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
41	41S1T21T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
42	42S1T22M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
43	43S1T22T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
44	44S1T23M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
45	45S1T23T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
46	46S1T24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
47	47S1T25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
48	48S1T26S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	0
49	49S1T27S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
50	50S1T28S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
51	51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
52	52S1T30S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
53	53S3-11M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
54	54S3-11T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
55	55S3-12M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
56	56S3-12T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
57	57S3-13M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
58	58S3-13T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
59	59S3-14S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	0
60	60S3-15S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	1.45
61	61S3-16S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	1.45
62	62S3-21M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
63	63S3-21T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
64	64S3-22M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
65	65S3-22T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
66	66S3-23M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
67	67S3-23T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPOSX71	SPQDX71	TERM	RTIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPOSXSW	SPQDXSW	
68	68S3-24S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	0
69	69S3-25S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.16	1.16
70	70S3-26S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	1.16
71	71SSS1--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	0.3	1	0	0	0
72	72SSS2--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	-0.3	1	0	0	0
73	73SSS3--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	1	0.3	0	0	0
74	74SSS4--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	-1	0.3	0	0	0
75	75SSS5--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	1	0	0	0
76	76SSS6--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	1	0	0	0
77	77SSS7--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	0
78	78SSS8--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	0
79	79SSS9S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	0.3	1	0.2	0	0.2
80	80SSS10S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
81	81SSS11S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
82	82SSS12S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
83	83SSS13S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
84	84SSS14S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
85	85SSS15S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
86	86SSS16S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
87	87R3-11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
88	88R3-11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
89	89R3-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
90	90R3-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
91	91R3-13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
92	92R3-13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
93	93R3-14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0
94	94R3-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
95	95R3-16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0.8
96	96R3-21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
97	97R3-21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
98	98R3-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
99	99R3-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
100	100R3-23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
101	101R3-23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
102	102R3-24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0
103	103R3-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
104	104R3-26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8
105	105R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
106	106R1T11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
107	107R1T12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
108	108R1T12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
109	109R1T13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
110	110R1T13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
111	111R1T14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0
112	112R1T15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
113	113R1T16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0.8
114	114R1T21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
115	115R1T21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
116	116R1T22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
117	117R1T22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
118	118R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
119	119R1T23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
120	120R1T24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
121	121R1T25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
122	122R1T26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

dove:

- PERM** : carichi permanenti
- PERM-G2** : carichi permanenti non strutturali
- ACC-M71** : carichi da traffico concentrato LM71 (disposizione per massimizzare il momento)
- ACC-T71** : carichi da traffico concentrato LM71(disposizione per massimizzare il taglio)
- ACC-SW** : carichi da traffico concentrato SW/2
- AVV** : avviamento
- SPTSx** : spinta del terreno sulla parete sx



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**  
**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA**  
**DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**

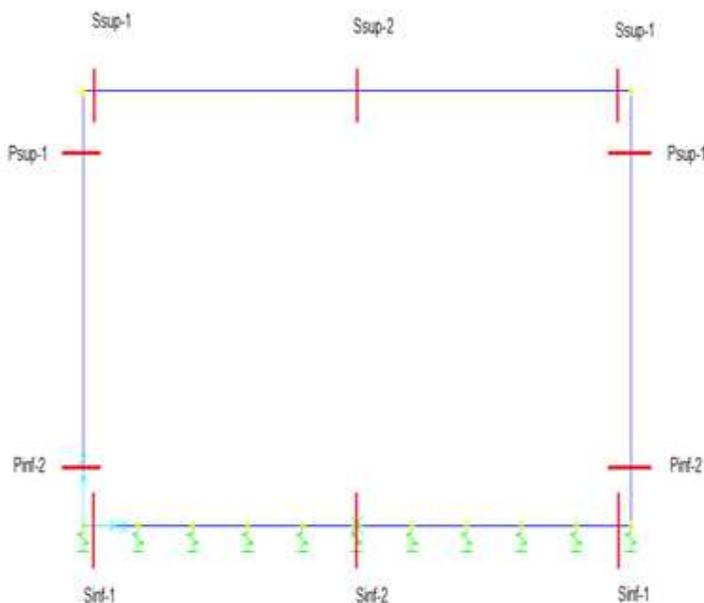
IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	30 di 57

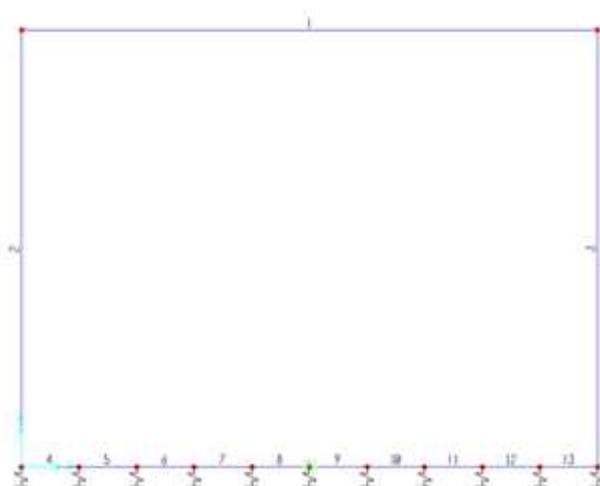
- SPTDx** : spinta del terreno sulla parete dx  
**SPQSx71** : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete sx  
**SPQDx71** : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete dx  
**TERM** : termica  
**RITIRO** : ritiro  
**SISMAH** : azione sismica  
**SISDX** : incremento sismico della spinta del terreno  
**SPQSxSW** : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete sx  
**SPQDxSW** : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete dx

## 9.4 Sollecitazioni

Nella successiva figura vengono rappresentate le sezioni dimensionate e verificate dello scatolare.



*Figura 9.1 - Sezioni di verifica*



*Figura 9.2 - Nomenclatura frame*

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	32 di 57

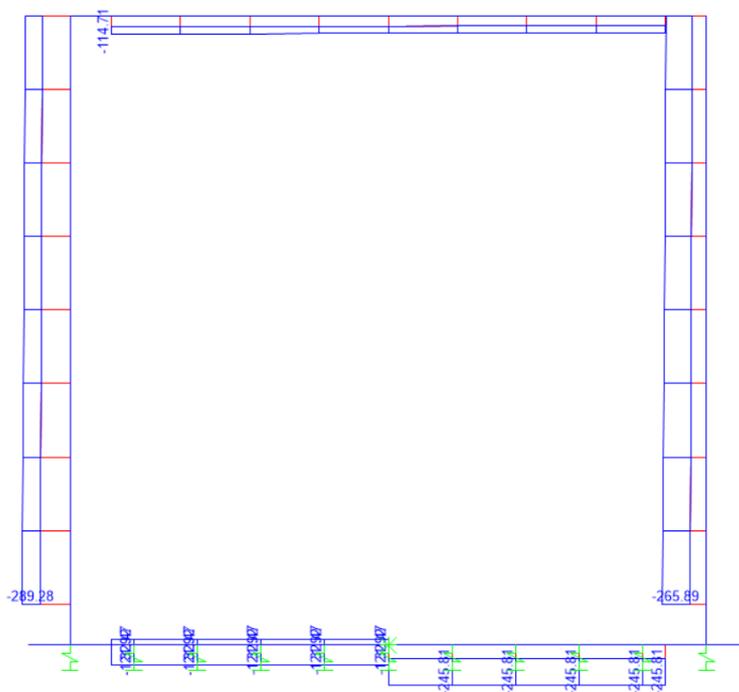


Figura 9.3 - Sforzo Normale – Involuppo SLU

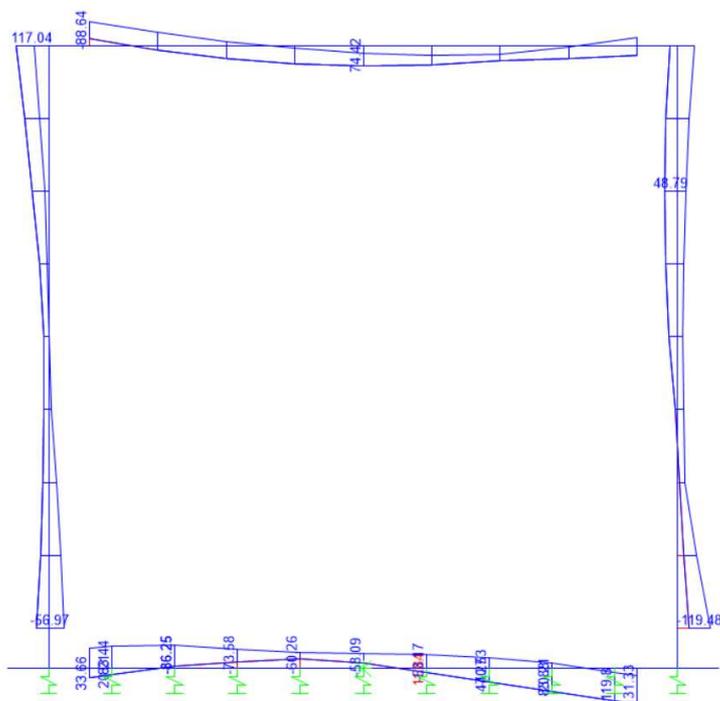


Figura 9.4 - Momento flettente – Involuppo SLU

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	33 di 57

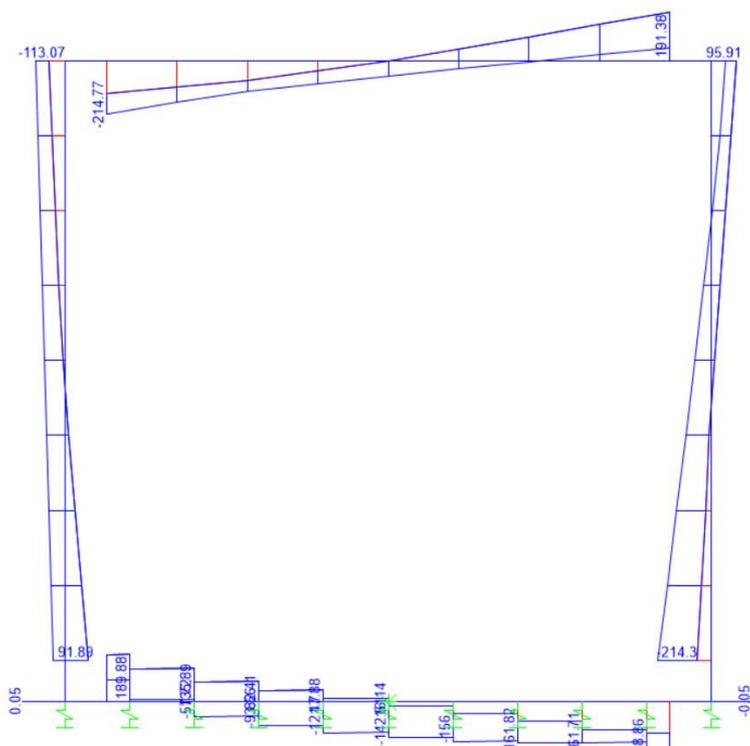


Figura 9.5 - Taglio – Involuppo SLU

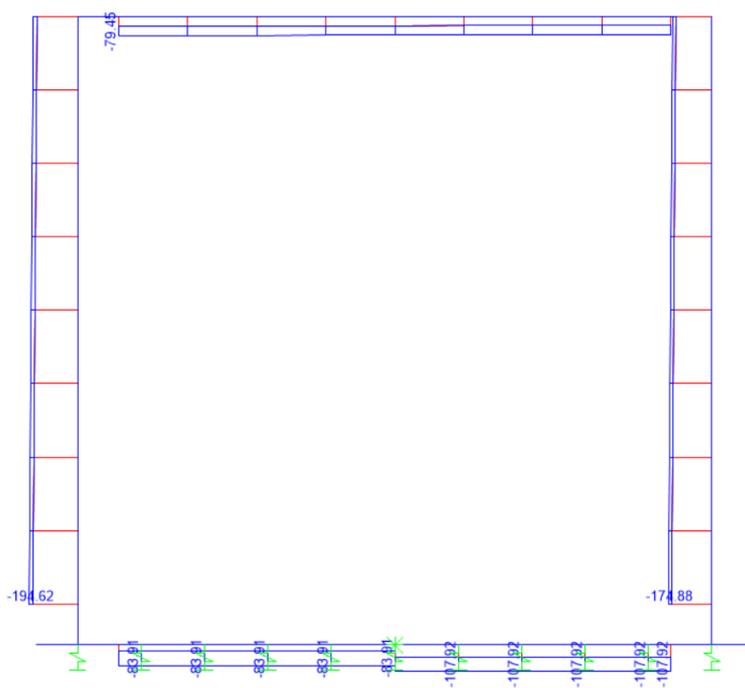
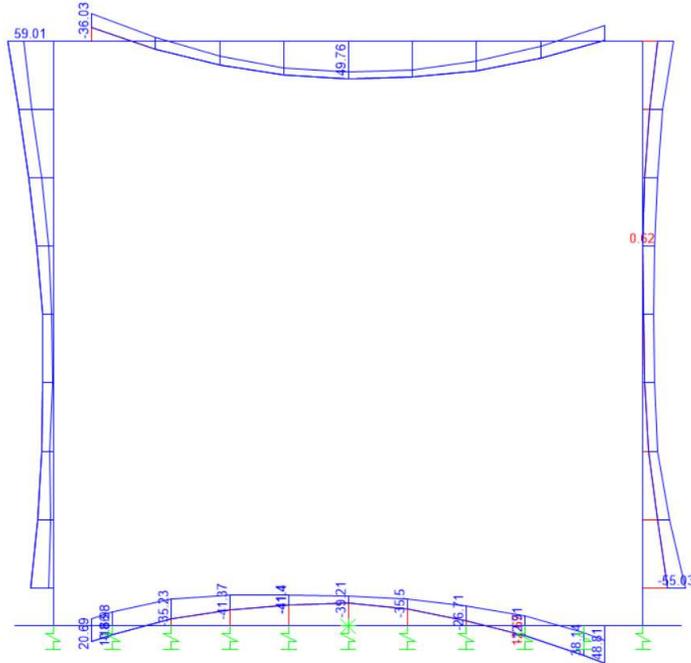


Figura 9.6 - Sforzo Normale – Involuppo SLE-Rara

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	34 di 57



*Figura 9.7 - Momento flettente – Involuppo SLE-Rara*

## 9.5 Verifiche strutturali

### 9.5.1 Verifica piedritti

**Sezione: 30 x 100 cm**

Armatura a flessione:

- Sommità (Pied-Sommità)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

- Spiccato (Pied-Spicc)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x40 cm.

IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	36 di 57

• Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s = 200000$ N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd} = 0.00196$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 30$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 22$ cm

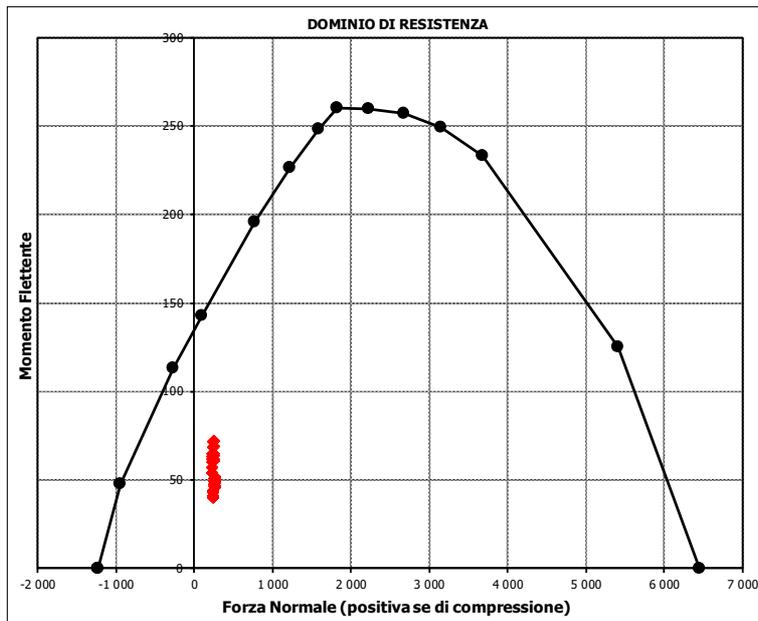
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_3St_01S	266	46
(Nmin)	Fr_3St_72S	101	116
(Mmax)	Fr_3St_75S	106	119
(Mmin)	Fr_3St_38S	238	40

Caratteristiche di sollecitazioni

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	266	46	53S3-11M	263	49
02S1-11T	266	46	54S3-11T	263	49
03S1-12M	266	48	55S3-12M	263	51
04S1-12T	266	48	56S3-12T	263	51
05S1-13M	251	69	57S3-13M	248	72
06S1-13T	251	69	58S3-13T	248	72
07S1-14	238	41	59S3-14S	259	48
08S1-15	223	62	60S3-15S	259	50
09S1-16S	262	45	61S3-16S	249	64
10S1-17S	262	47	62S3-21M	263	52
11S1-18S	252	61	63S3-21T	263	52
12S1-19S	238	40	64S3-22M	263	54
13S1-20S	228	54	65S3-22T	263	54
14S1-21M	266	49	66S3-23M	250	73
15S1-21T	266	49	67S3-23T	250	73
16S1-22M	266	51	68S3-24S	259	51
17S1-22T	266	51	69S3-25S	259	53
18S1-23M	251	72	70S3-26S	250	67
19S1-23T	251	72	71SSS1--	106	117
20S1-24	238	44	72SSS2--	101	116
21S1-25	223	65	73SSS3--	149	67
22S1-26S	262	48	74SSS4--	130	64
23S1-27S	262	50	75SSS5--	106	119
24S1-28S	252	64	76SSS6--	101	119
25S1-29S	238	43	77SSS7--	149	69
26S1-30S	228	57	78SSS8--	130	67
27S1T11M	258	47	79SSS9S	106	116
28S1T11T	258	47	80SSS10S	101	115
29S1T12M	258	49	81SSS11S	149	66
30S1T12T	258	49	82SSS12S	130	63
31S1T13M	245	68	83SSS13S	106	118
32S1T13T	245	68	84SSS14S	101	118
33S1T14	238	41	85SSS15S	149	68
34S1T15	225	60	86SSS16S	130	66
35S1T16S	255	46			
36S1T17S	255	48			
37S1T18S	245	62			
38S1T19S	238	40			
39S1T20S	228	54			
40S1T21M	258	50			
41S1T21T	258	50			
42S1T22M	258	52			
43S1T22T	258	52			
44S1T23M	245	71			
45S1T23T	245	71			
46S1T24	238	44			
47S1T25	225	63			
48S1T26S	255	49			
49S1T27S	255	51			
50S1T28S	245	65			
51S1T29S	238	43			
52S1T30S	228	57			



IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	37 di 57

• Verifica a pressoflessione sommità (Pied-Sommità)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s = 200000$ N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd} = 0.00196$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 30$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 22$ cm

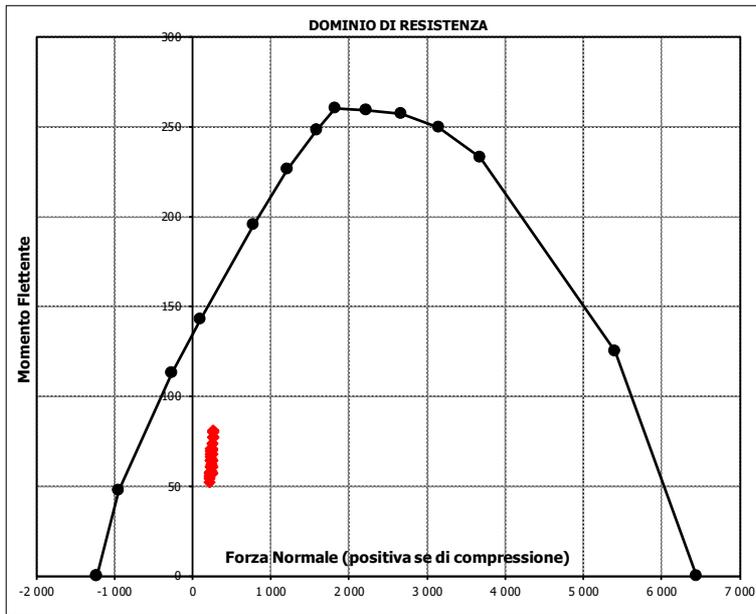
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	cm <sup>2</sup>
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	cm <sup>2</sup>
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_2St_57S	268	84
(Nmin)	Fr_2St_82S	165	66
(Mmax)	Fr_2St_71S	214	117
(Mmin)	Fr_2St_51S	216	52

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	250	61	53S3-11M	253	64
02S1-11T	250	61	54S3-11T	253	64
03S1-12M	250	68	55S3-12M	253	71
04S1-12T	250	68	56S3-12T	253	71
05S1-13M	265	81	57S3-13M	268	84
06S1-13T	265	81	58S3-13T	268	84
07S1-14-	216	58	59S3-14S	249	63
08S1-15-	231	71	60S3-15S	249	68
09S1-16S	246	60	61S3-16S	259	77
10S1-17S	246	65	62S3-21M	253	61
11S1-18S	256	73	63S3-21T	253	61
12S1-19S	216	56	64S3-22M	253	67
13S1-20S	226	64	65S3-22T	253	67
14S1-21M	250	57	66S3-23M	266	79
15S1-21T	250	57	67S3-23T	266	79
16S1-22M	250	64	68S3-24S	249	60
17S1-22T	250	64	69S3-25S	249	65
18S1-23M	265	78	70S3-26S	258	73
19S1-23T	265	78	71SSS1-	214	117
20S1-24-	216	55	72SSS2--	208	116
21S1-25-	231	68	73SSS3--	185	71
22S1-26S	246	57	74SSS4--	166	68
23S1-27S	246	61	75SSS5--	214	115
24S1-28S	256	70	76SSS6--	208	113
25S1-29S	216	52	77SSS7--	185	69
26S1-30S	226	61	78SSS8--	166	65
27S1T11M	246	62	79SSS9S	213	116
28S1T11T	246	62	80SSS10S	207	115
29S1T12M	246	68	81SSS11S	183	70
30S1T12T	246	68	82SSS12S	165	66
31S1T13M	259	80	83SSS13S	213	113
32S1T13T	259	80	84SSS14S	207	112
33S1T14-	216	57	85SSS15S	183	68
34S1T15-	229	70	86SSS16S	165	64
35S1T16S	242	61			
36S1T17S	242	66			
37S1T18S	252	74			
38S1T19S	216	56			
39S1T20S	226	64			
40S1T21M	246	58			
41S1T21T	246	58			
42S1T22M	246	65			
43S1T22T	246	65			
44S1T23M	259	77			
45S1T23T	259	77			
46S1T24-	216	54			
47S1T25-	229	66			
48S1T26S	242	58			
49S1T27S	242	62			
50S1T28S	252	71			
51S1T29S	216	52			
52S1T30S	226	61			



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd2}$  la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo		Sollecitazioni		Piedritto	
Tipo	C30/37	$V_{Ed}$	kN		<b>214</b>
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>	$N_{Ed}$	kN		<b>0</b>
$f_{ck}$	30.7 N/mm <sup>2</sup>	<b>Armatura a taglio</b>			
$\gamma_c$	1.5	Diametro	mm		12
$\alpha_{cc}$	0.85	Numero barre			2.5
$f_{cd}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>	$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>		2.83
<b>Acciaio</b>		Passo s	cm		20
$f_{tk}$	540 N/mm <sup>2</sup>	Angolo $\alpha$	°		90
$f_{yk}$	450 N/mm <sup>2</sup>	<b>Armatura longitudinale</b>			
$\gamma_s$	1.15	$n_1$			5
$f_{yd}$	391 N/mm <sup>2</sup>	$\varnothing_1$	mm		20
		$n_2$			-
		$\varnothing_2$	mm		-
		Asl	cm <sup>2</sup>		15.71
		<b>Sezione</b>			
		$b_w$	cm		100
		H	cm		30
		c	cm		8
		d	cm		22
		k	N/mm <sup>2</sup>		1.95
		$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>		0.53
		$\rho$			0.0071
		$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>		0.00
		$\alpha_c$			1.00
		<b>Resistenza senza armatura a taglio</b>			
		$V_{Rd}$	kN		<b>144</b>
		<b>Resistenza con armatura a taglio</b>			
		Inclinazione puntone $\theta$	°		<b>21.8</b>
		$V_{RSd}$	kN		274
		$V_{RCd}$	kN		594
		$V_{Rd}$	kN		<b>274</b>

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	39 di 57

• Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spice)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>55.04</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>162</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R <sub>ck</sub>	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f <sub>ck</sub>	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	E <sub>cm</sub>	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	σ <sub>amm</sub>	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	f <sub>ctm</sub>	3.4	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	f <sub>ctk</sub>	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	f <sub>yk</sub>	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	E <sub>s</sub>	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	σ <sub>amm</sub>	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS <sub>1</sub> '	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	C <sub>s1</sub> = <b>8.0</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	AS <sub>2</sub> '	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	C <sub>s2</sub> = <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	AS <sub>2</sub>	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	C <sub>t2</sub> = <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	AS <sub>1</sub>	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	C <sub>t1</sub> = <b>8.0</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	σ <sub>c</sub>	<b>6.8</b>	N/mm <sup>2</sup>	< σ <sub>camm</sub>
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ <sub>s</sub>	<b>127.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	< σ <sub>samm</sub>

Eccentricità	e (M)	34.0	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	19.0	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	9.8	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A <sub>id</sub>	3440	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J <sub>id</sub>	248090.706	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J <sub>id*</sub>	67134.02614	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione (f <sub>ctk</sub> )	M <sub>fess*</sub>	47	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f <sub>ctm</sub> )	M <sub>fess</sub>	63	kN m	
Eccentricità per M=M <sub>fess</sub>	e (M <sub>fess</sub> )	39.1	cm	
	u (M <sub>fess</sub> )	24.1	cm	
Compressione max nel cls. per M=M <sub>fess</sub>	σ <sub>cr</sub>	7.9	N/mm <sup>2</sup>	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M <sub>fess</sub>	σ <sub>sr</sub>	154.2	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per M=M <sub>fess</sub>	y (M <sub>fess</sub> )	9.5	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	h <sub>c,eff</sub>	6.82	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α <sub>e</sub>	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS <sub>eff</sub>	15.71	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	AC <sub>eff</sub>	682.39	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	ρ <sub>eff</sub>	0.0230	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ε <sub>sm</sub>	0.000308469	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K <sub>1</sub>	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K <sub>2</sub>	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	K <sub>3</sub>	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K <sub>4</sub>	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	φ <sub>eq</sub>	<b>20.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs <sub>max</sub>	317.7028442	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs <sub>m</sub>	186.884026	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w <sub>m</sub>	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w <sub>d</sub>	<b>0.10</b>	mm	

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	40 di 57

- Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

#### Sollecitazioni

Momento flettente	M	<b>59.01</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>178</b>	kN

#### Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R <sub>ck</sub>	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f <sub>ck</sub>	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	E <sub>cm</sub>	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	σ <sub>amm</sub>	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	f <sub>ctm</sub>	3.4	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	f <sub>ctk</sub>	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	f <sub>yk</sub>	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	E <sub>s</sub>	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	σ <sub>amm</sub>	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

#### Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS <sub>1</sub> '	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	C <sub>s1</sub> = <b>8.0</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	AS <sub>2</sub> '	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	C <sub>s2</sub> = <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	AS <sub>2</sub>	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	C <sub>t2</sub> = <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	AS <sub>1</sub>	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	C <sub>t1</sub> = <b>8.0</b> cm

#### Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ <sub>c</sub>	<b>7.3</b>	N/mm <sup>2</sup>	< σ <sub>camm</sub>
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ <sub>s</sub>	<b>134.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	< σ <sub>samm</sub>

Eccentricità	e (M)	33.1	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	18.1	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	9.8	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A <sub>id</sub>	3440	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J <sub>id</sub>	248090.706	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J <sub>id*</sub>	67417.2424	cm <sup>4</sup>	

#### Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f <sub>ctk</sub> )	M <sub>fess*</sub>	47	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f <sub>ctm</sub> )	M <sub>fess</sub>	64	kN m	
Eccentricità per M=M <sub>fess</sub>	e (M <sub>fess</sub> )	35.9	cm	
	u (M <sub>fess</sub> )	20.9	cm	
Compressione max nel cls. per M=M <sub>fess</sub>	σ <sub>cr</sub>	7.9	N/mm <sup>2</sup>	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M <sub>fess</sub>	σ <sub>sr</sub>	151.4	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per M=M <sub>fess</sub>	y (M <sub>fess</sub> )	9.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	h <sub>c,eff</sub>	6.77	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α <sub>e</sub>	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS <sub>eff</sub>	15.71	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	AC <sub>eff</sub>	677.31	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	ρ <sub>eff</sub>	0.0232	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ε <sub>sm</sub>	0.000302709	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K <sub>1</sub>	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K <sub>2</sub>	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	K <sub>3</sub>	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K <sub>4</sub>	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	φ <sub>eq</sub>	<b>20.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs <sub>max</sub>	316.6038762	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs <sub>m</sub>	186.2375742	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w <sub>m</sub>	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w <sub>d</sub>	<b>0.10</b>	mm	



PROGETTO DEFINITIVO  
DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA  
DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	41 di 57

### 9.5.2 Verifica soletta superiore

**Sezione: 30 x 100 cm**

#### Armatura a flessione:

- Appoggio (Solsup-App)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

- Campata (Solsup-Camp)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

#### Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x40 cm.

IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	42 di 57

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solsup-App)

**Acciaio**

Tensione car. di rottura	$f_{tk}$	=	540	N/mm <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk}$	=	450	N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s$	=	1.15	
Resistenza di calcolo	$f_{yd}$	=	391	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s$	=	205000	N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd}$	=	0.00191	

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37			
R <sub>ck</sub>	=	37	N/mm <sup>2</sup>	
f <sub>ck</sub>	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	
$\gamma_c$	=	1.5		
f <sub>cd</sub>	=	20.5	N/mm <sup>2</sup>	
f <sub>ctd</sub>	=	17.4	N/mm <sup>2</sup>	

copriferro	=	50	mm
staffe	=	10	mm
armat. sec	=	10	mm

**Geometria della sezione**

Altezza geometrica della sezione	h	=	30	cm
Base della sezione	b	=	100	cm
Copriferro	d'	=	8	cm
Altezza utile della sezione	d	=	22	cm

**Armatura tesa**

N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**Armatura compressa**

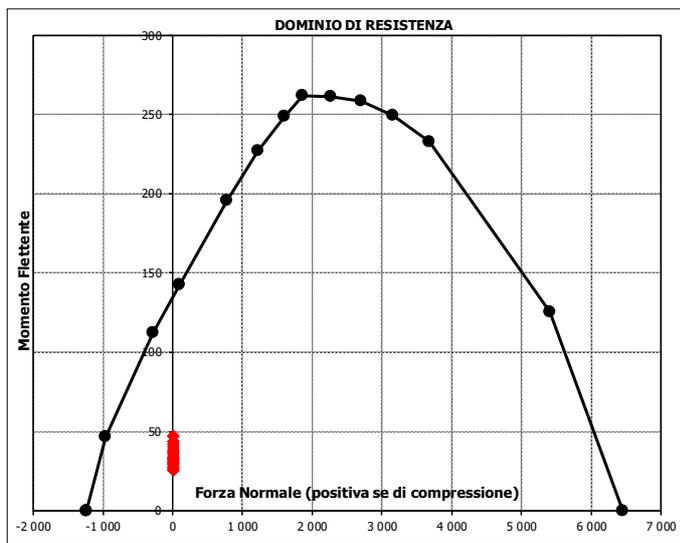
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_1St_01S	0	29
(Nmin)	Fr_1St_01S	0	29
(Mmax)	Fr_1St_71S	0	89
(Mmin)	Fr_1St_51S	0	25

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	29	53S3-11M	0	32
02S1-11T	0	29	54S3-11T	0	32
03S1-12M	0	36	55S3-12M	0	39
04S1-12T	0	36	56S3-12T	0	39
05S1-13M	0	47	57S3-13M	0	50
06S1-13T	0	47	58S3-13T	0	50
07S1-14-	0	31	59S3-14S	0	32
08S1-15-	0	42	60S3-15S	0	37
09S1-16S	0	29	61S3-16S	0	44
10S1-17S	0	34	62S3-21M	0	29
11S1-18S	0	41	63S3-21T	0	29
12S1-19S	0	29	64S3-22M	0	35
13S1-20S	0	36	65S3-22T	0	35
14S1-21M	0	26	66S3-23M	0	45
15S1-21T	0	26	67S3-23T	0	45
16S1-22M	0	33	68S3-24S	0	28
17S1-22T	0	33	69S3-25S	0	33
18S1-23M	0	44	70S3-26S	0	40
19S1-23T	0	44	71SSS1--	0	89
20S1-24-	0	28	72SSS2--	0	88
21S1-25-	0	39	73SSS3--	0	47
22S1-26S	0	25	74SSS4--	0	46
23S1-27S	0	30	75SSS5--	0	86
24S1-28S	0	37	76SSS6--	0	86
25S1-29S	0	25	77SSS7--	0	45
26S1-30S	0	33	78SSS8--	0	44
27S1T11M	0	30	79SSS9S	0	88
28S1T11T	0	30	80SSS10S	0	87
29S1T12M	0	37	81SSS11S	0	47
30S1T12T	0	37	82SSS12S	0	45
31S1T13M	0	47	83SSS13S	0	85
32S1T13T	0	47	84SSS14S	0	85
33S1T14-	0	30	85SSS15S	0	44
34S1T15-	0	41	86SSS16S	0	43
35S1T16S	0	30			
36S1T17S	0	35			
37S1T18S	0	42			
38S1T19S	0	29			
39S1T20S	0	36			
40S1T21M	0	27			
41S1T21T	0	27			
42S1T22M	0	33			
43S1T22T	0	33			
44S1T23M	0	44			
45S1T23T	0	44			
46S1T24-	0	27			
47S1T25-	0	37			
48S1T26S	0	27			
49S1T27S	0	31			
50S1T28S	0	39			
51S1T29S	0	25			
52S1T30S	0	32			



IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	43 di 57

• Verifica a pressoflessione campata (Solsup-Camp)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
Resistenza di calcolo	$R_{ck} = 37$ N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica	$f_{ck} = 30.71$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_c = 1.5$
Resistenza di calcolo	$f_{cd} = 20.5$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_{cc} = 17.4$ N/mm <sup>2</sup>

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 30$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copri ferro	$d' = 8.0$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 22$ cm

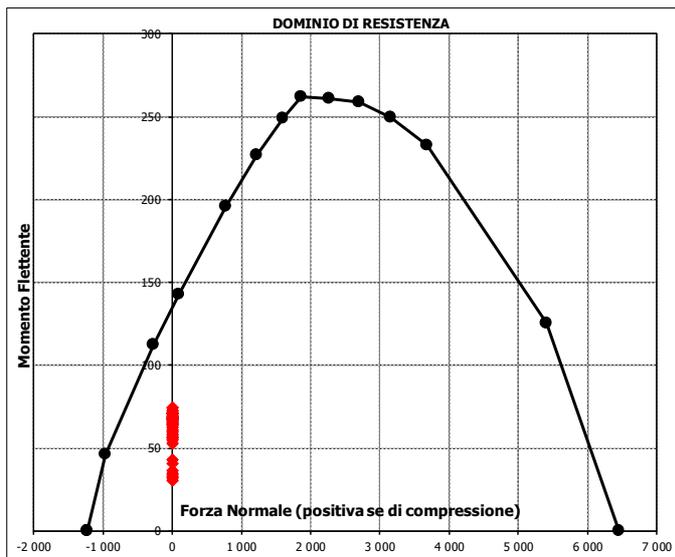
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_1St_01	0	71
(Nmin)	Fr_1St_01	0	71
(Mmax)	Fr_1St_14	0	74
(Mmin)	Fr_1St_80	0	30

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	71	53S3-11M	0	71
02S1-11T	0	71	54S3-11T	0	71
03S1-12M	0	64	55S3-12M	0	64
04S1-12T	0	64	56S3-12T	0	64
05S1-13M	0	68	57S3-13M	0	68
06S1-13T	0	68	58S3-13T	0	68
07S1-14-	0	53	59S3-14S	0	70
08S1-15-	0	56	60S3-15S	0	65
09S1-16S	0	70	61S3-16S	0	67
10S1-17S	0	65	62S3-21M	0	74
11S1-18S	0	67	63S3-21T	0	74
12S1-19S	0	55	64S3-22M	0	68
13S1-20S	0	57	65S3-22T	0	68
14S1-21M	0	74	66S3-23M	0	71
15S1-21T	0	74	67S3-23T	0	71
16S1-22M	0	67	68S3-24S	0	73
17S1-22T	0	67	69S3-25S	0	68
18S1-23M	0	71	70S3-26S	0	71
19S1-23T	0	71	71SSS1--	0	32
20S1-24-	0	56	72SSS2--	0	30
21S1-25-	0	60	73SSS3--	0	41
22S1-26S	0	73	74SSS4--	0	34
23S1-27S	0	68	75SSS5--	0	35
24S1-28S	0	71	76SSS6--	0	33
25S1-29S	0	58	77SSS7--	0	43
26S1-30S	0	61	78SSS8--	0	36
27S1T11M	0	69	79SSS9S	0	32
28S1T11T	0	69	80SSS10S	0	30
29S1T12M	0	62	81SSS11S	0	41
30S1T12T	0	62	82SSS12S	0	34
31S1T13M	0	66	83SSS13S	0	35
32S1T13T	0	66	84SSS14S	0	33
33S1T14-	0	53	85SSS15S	0	43
34S1T15-	0	56	86SSS16S	0	36
35S1T16S	0	68			
36S1T17S	0	63			
37S1T18S	0	65			
38S1T19S	0	55			
39S1T20S	0	57			
40S1T21M	0	72			
41S1T21T	0	72			
42S1T22M	0	66			
43S1T22T	0	66			
44S1T23M	0	69			
45S1T23T	0	69			
46S1T24-	0	57			
47S1T25-	0	60			
48S1T26S	0	71			
49S1T27S	0	66			
50S1T28S	0	69			
51S1T29S	0	58			
52S1T30S	0	61			



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd2}$  la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo		Sollecitazioni		Soletta sup	
Tipo	C30/37	$V_{Ed}$	kN		<b>215</b>
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>	$N_{Ed}$	kN		<b>0</b>
$f_{ck}$	30.7 N/mm <sup>2</sup>	<b>Armatura a taglio</b>			
$\gamma_c$	1.5	Diametro	mm		<b>12</b>
$\alpha_{cc}$	0.85	Numero barre			<b>2.5</b>
$f_{cd}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>	$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>		<b>2.83</b>
<b>Acciaio</b>		Passo s	cm		<b>20</b>
$f_{tk}$	540 N/mm <sup>2</sup>	Angolo $\alpha$	°		<b>90</b>
$f_{yk}$	450 N/mm <sup>2</sup>	<b>Armatura longitudinale</b>			
$\gamma_s$	1.15	$n_1$			<b>5</b>
$f_{yd}$	391 N/mm <sup>2</sup>	$\varnothing_1$	mm		<b>20</b>
		$n_2$			<b>-</b>
		$\varnothing_2$	mm		<b>-</b>
		Asl	cm <sup>2</sup>		<b>15.71</b>
		<b>Sezione</b>			
		$b_w$	cm		<b>100</b>
		H	cm		<b>30</b>
		c	cm		<b>8</b>
		d	cm		<b>22</b>
		k	N/mm <sup>2</sup>		<b>1.95</b>
		$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>		<b>0.53</b>
		$\rho$			<b>0.0071</b>
		$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>		<b>0.00</b>
		$\alpha_c$			<b>1.00</b>
		<b>Resistenza senza armatura a taglio</b>			
		$V_{Rd}$	kN		<b>144</b>
		<b>Resistenza con armatura a taglio</b>			
		Inclinazione puntone $\theta$	°		<b>21.8</b>
		$V_{RSd}$	kN		<b>274</b>
		$V_{RCd}$	kN		<b>594</b>
		$V_{Rd}$	kN		<b>274</b>

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	45 di 57

- Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

#### Sollecitazioni

Momento flettente	M	<b>36.03</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>0</b>	kN

#### Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{amm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	3.4	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{amm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

#### Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b> $C_{s1} =$ <b>8.0</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{s2} =$ <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{i2} =$ <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b> $C_{i1} =$ <b>8.0</b> cm

#### Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>4.6</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>119.0</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>8.1</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3440	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	248090.706	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	63240.43535	cm <sup>4</sup>	

#### Verifica a fessurazione

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	46 di 57

• Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>49.76</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>0</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	3.4	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	$n$	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	$C_{s1} = 8.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$C_{s2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$C_{t2} = 9.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	$C_{t1} = 8.0$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.4</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>164.3</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	8.1	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3440	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	248090.706	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	63240.43535	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	39	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	56	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
	$u$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	178.7	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	8.4	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.19	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	15.71	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	719.02	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0218	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000361002	-	
Copriferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>20.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	325.6330461	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	191.5488506	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.12</b>	mm	



PROGETTO DEFINITIVO  
DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA  
DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	47 di 57

### 9.5.3 Verifica soletta inferiore

**Sezione: 30 x 100 cm**

#### Armatura a flessione:

- Appoggio (Solinf-App)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

- Campata (Solinf-Camp)

Armatura tesa

φ 20/20 cm

Armatura compressa

φ 20/20 cm

#### Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x40 cm.

IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	48 di 57

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solinf-App)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s = 200000$ N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd} = 0.00196$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 30$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 22$ cm

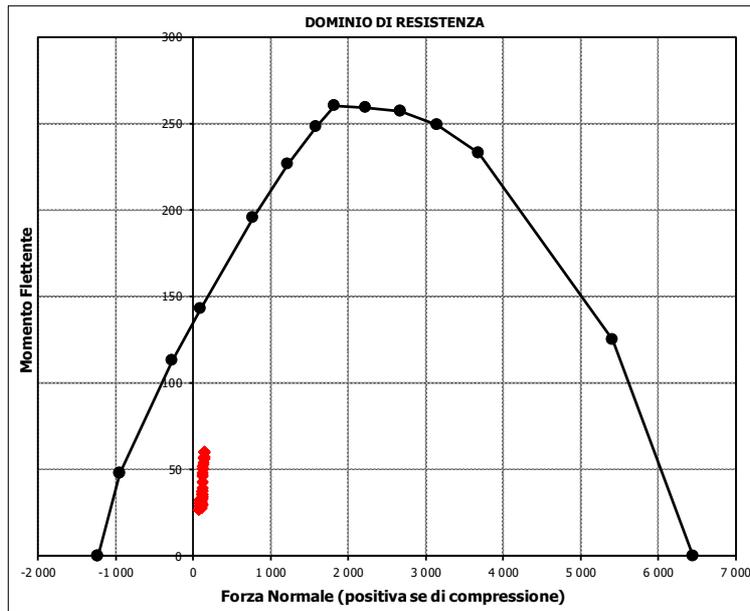
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	cm <sup>2</sup>
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	cm <sup>2</sup>
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>15.71</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_13St_76	246	131
(Nmin)	Fr_13St_01	78	27
(Mmax)	Fr_13St_75	246	131
(Mmin)	Fr_13St_05	79	27

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	78	27	53S3-11M	81 30
02S1-11T	78	27	54S3-11T	81 30
03S1-12M	121	34	55S3-12M	124 38
04S1-12T	121	34	56S3-12T	124 38
05S1-13M	140	57	57S3-13M	143 60
06S1-13T	140	57	58S3-13T	143 60
07S1-14-	119	30	59S3-14S	82 30
08S1-15-	138	53	60S3-15S	111 35
09S1-16S	79	27	61S3-16S	124 50
10S1-17S	108	32	62S3-21M	84 34
11S1-18S	121	47	63S3-21T	84 34
12S1-19S	106	28	64S3-22M	124 41
13S1-20S	119	43	65S3-22T	124 41
14S1-21M	81	31	66S3-23M	142 62
15S1-21T	81	31	67S3-23T	142 62
16S1-22M	124	38	68S3-24S	85 34
17S1-22T	124	38	69S3-25S	114 39
18S1-23M	143	61	70S3-26S	126 54
19S1-23T	143	61	71SSS1-	243 129
20S1-24-	122	34	72SSS2-	244 129
21S1-25-	141	56	73SSS3-	138 65
22S1-26S	82	30	74SSS4-	139 64
23S1-27S	111	35	75SSS5-	246 131
24S1-28S	124	51	76SSS6-	246 131
25S1-29S	109	31	77SSS7-	140 68
26S1-30S	122	46	78SSS8-	141 67
27S1T11M	80	29	79SSS9S	241 127
28S1T11T	80	29	80SSS10S	241 127
29S1T12M	120	36	81SSS11S	136 64
30S1T12T	120	36	82SSS12S	136 63
31S1T13M	137	57	83SSS13S	243 130
32S1T13T	137	57	84SSS14S	243 130
33S1T14-	116	30	85SSS15S	138 66
34S1T15-	134	51	86SSS16S	138 66
35S1T16S	81	29		
36S1T17S	110	34		
37S1T18S	122	49		
38S1T19S	106	28		
39S1T20S	118	43		
40S1T21M	83	32		
41S1T21T	83	32		
42S1T22M	123	39		
43S1T22T	123	39		
44S1T23M	141	60		
45S1T23T	141	60		
46S1T24-	119	33		
47S1T25-	137	54		
48S1T26S	84	32		
49S1T27S	113	37		
50S1T28S	125	52		
51S1T29S	109	31		
52S1T30S	121	46		



IN52 - Prolungamento tombino al km 28+747  
Relazione di calcolo scatolare 2x2

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	49 di 57

• Verifica a pressoflessione campata (Solinf-Camp)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s = 200000$ N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd} = 0.00196$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
Resistenza caratteristica	$R_{ck} = 37$ N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo	$f_{ck} = 30.71$ N/mm <sup>2</sup>
Coef. di variazione	$V_c = 1.5$
Resistenza di calcolo	$f_{cd} = 20.5$ N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo	$f_{cc} = 17.4$ N/mm <sup>2</sup>

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 30$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 22$ cm

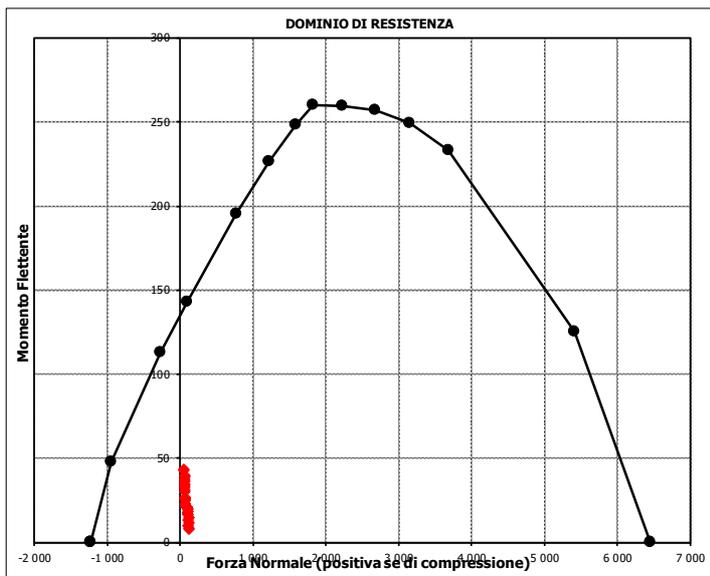
Armatura tesa		
N° ferri	Diametro	Area
5	20	15.71 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
<b>15.71 cm<sup>2</sup></b>		

Armatura compressa		
N° ferri	Diametro	Area
5	20	15.71 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
<b>15.71 cm<sup>2</sup></b>		

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	Fr_5St_20s	122
(Nmin)	Fr_5St_71s	-32
(Mmax)	Fr_5St_71s	-32
(Mmin)	Fr_5St_20s	122

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	73	26	53S3-11M	70	29
02S1-11T	73	26	54S3-11T	70	29
03S1-12M	115	18	55S3-12M	112	21
04S1-12T	115	18	56S3-12T	112	21
05S1-13M	53	43	57S3-13M	50	46
06S1-13T	53	43	58S3-13T	50	46
07S1-14	119	11	59S3-14S	70	28
08S1-15	57	36	60S3-15S	99	23
09S1-16S	73	25	61S3-16S	57	40
10S1-17S	102	20	62S3-21M	73	25
11S1-18S	60	37	63S3-21T	73	25
12S1-19S	106	14	64S3-22M	112	18
13S1-20S	64	30	65S3-22T	112	18
14S1-21M	76	22	66S3-23M	55	41
15S1-21T	76	22	67S3-23T	55	41
16S1-22M	118	15	68S3-24S	73	25
17S1-22T	118	15	69S3-25S	102	20
18S1-23M	56	40	70S3-26S	60	36
19S1-23T	56	40	71SSS1--	-32	86
20S1-24	122	8	72SSS2--	-32	85
21S1-25	60	33	73SSS3--	12	46
22S1-26S	76	22	74SSS4--	13	44
23S1-27S	105	17	75SSS5--	-30	84
24S1-28S	63	33	76SSS6--	-30	83
25S1-29S	109	10	77SSS7--	14	44
26S1-30S	67	27	78SSS8--	15	41
27S1T11M	71	27	79SSS9S	-32	85
28S1T11T	71	27	80SSS10S	-31	85
29S1T12M	110	20	81SSS11S	13	45
30S1T12T	110	20	82SSS12S	13	43
31S1T13M	53	43	83SSS13S	-29	83
32S1T13T	53	43	84SSS14S	-29	82
33S1T14	116	12	85SSS15S	15	43
34S1T15	59	35	86SSS16S	16	40
35S1T16S	71	26			
36S1T17S	100	21			
37S1T18S	59	38			
38S1T19S	106	14			
39S1T20S	64	30			
40S1T21M	74	23			
41S1T21T	74	23			
42S1T22M	113	16			
43S1T22T	113	16			
44S1T23M	56	39			
45S1T23T	56	39			
46S1T24	119	8			
47S1T25	62	31			
48S1T26S	74	23			
49S1T27S	103	18			
50S1T28S	62	34			
51S1T29S	109	10			
52S1T30S	67	27			



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < V_{Rd2}$  la verifica è soddisfatta.

#### Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
$R_{ck}$	37	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.7	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	17.4	N/mm <sup>2</sup>

#### Acciaio

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

#### Sollecitazioni

$V_{Ed}$	kN	<b>199</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

#### Soletta inf

#### Armatura a taglio

Diametro	mm	<b>12</b>
Numero barre		<b>2.5</b>
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	<b>2.83</b>
Passo s	cm	<b>20</b>
Angolo $\alpha$	°	<b>90</b>

#### Armatura longitudinale

$n_1$		<b>5</b>
$\varnothing_1$	mm	<b>20</b>
$n_2$		<b>-</b>
$\varnothing_2$	mm	<b>-</b>
Asl	cm <sup>2</sup>	<b>15.71</b>

#### Sezione

$b_w$	cm	<b>100</b>
H	cm	<b>30</b>
c	cm	<b>8</b>
d	cm	<b>22</b>
k	N/mm <sup>2</sup>	<b>1.95</b>
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	<b>0.53</b>
$\rho$		<b>0.0071</b>
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	<b>0.00</b>
$\alpha_c$		<b>1.00</b>

#### Resistenza senza armatura a taglio

$V_{Rd}$	kN	<b>144</b>
----------	----	------------

#### Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone $\theta$	°	<b>21.8</b>
$V_{Rsd}$	kN	<b>274</b>
$V_{Rcd}$	kN	<b>594</b>

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	51 di 57

• Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>48.81</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>108</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R <sub>ck</sub>	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f <sub>ck</sub>	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	E <sub>cm</sub>	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	σ <sub>amm</sub>	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	f <sub>ctm</sub>	3.4	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	f <sub>ctk</sub>	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	f <sub>yk</sub>	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	E <sub>s</sub>	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	σ <sub>amm</sub>	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS <sub>1</sub> '	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	C <sub>s1</sub> = <b>8.0</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	AS <sub>2</sub> '	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	C <sub>s2</sub> = <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	AS <sub>2</sub>	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	C <sub>t2</sub> = <b>9.0</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	AS <sub>1</sub>	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	C <sub>t1</sub> = <b>8.0</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	σ <sub>c</sub>	<b>6.1</b>	N/mm <sup>2</sup>	< σ <sub>camm</sub>
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ <sub>s</sub>	<b>124.5</b>	N/mm <sup>2</sup>	< σ <sub>samm</sub>

Eccentricità	e (M)	45.2	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	30.2	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	9.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A <sub>id</sub>	3440	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J <sub>id</sub>	248090.706	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J <sub>id*</sub>	65240.28654	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione (f <sub>ctk</sub> )	M <sub>fess*</sub>	44	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f <sub>ctm</sub> )	M <sub>fess</sub>	61	kN m	
Eccentricità per M=M <sub>fess</sub>	e (M <sub>fess</sub> )	56.3	cm	
	u (M <sub>fess</sub> )	41.3	cm	
Compressione max nel cls. per M=M <sub>fess</sub>	σ <sub>cr</sub>	7.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M <sub>fess</sub>	σ <sub>sr</sub>	163.6	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per M=M <sub>fess</sub>	y (M <sub>fess</sub> )	9.0	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	h <sub>c,eff</sub>	6.99	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α <sub>e</sub>	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS <sub>eff</sub>	15.71	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	AC <sub>eff</sub>	698.56	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	ρ <sub>eff</sub>	0.0225	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ε <sub>sm</sub>	0.000327281	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K <sub>1</sub>	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K <sub>2</sub>	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	K <sub>3</sub>	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K <sub>4</sub>	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	φ <sub>eq</sub>	<b>20.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs <sub>max</sub>	321.2045857	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs <sub>m</sub>	188.9438739	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w <sub>m</sub>	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w <sub>d</sub>	<b>0.11</b>	mm	

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	52 di 57

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>41.40</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>25</b>	kN

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	3.4	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup> <b>5</b> Ø <b>20</b> $C_{s1} = \text{8.0}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup> <b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{s2} = \text{9.0}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup> <b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{t2} = \text{9.0}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	15.71	cm <sup>2</sup> <b>5</b> Ø <b>20</b> $C_{t1} = \text{8.0}$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>5.3</b>	N/mm <sup>2</sup> < $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>128.2</b>	N/mm <sup>2</sup> < $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	168.1	cm > H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	153.1	cm
Posizione asse neutro	y (M)	8.4	cm
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3440	cm <sup>2</sup>
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	248090.706	cm <sup>4</sup>
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	63358.92787	cm <sup>4</sup>

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	40	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	57	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e ( $M_{fess}$ )	230.2	cm	
	u ( $M_{fess}$ )	215.2	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	178.7	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y ( $M_{fess}$ )	8.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.23	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	15.71	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	723.44	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0217	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000368979	-	
Copri ferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>20.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	326.5881852	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	192.1106972	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.12</b>	mm	



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**  
**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA**  
**DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	53 di 57

## 10. INCIDENZA SCATOLARE

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

Piedritti	<b>130 kg/mc</b>
Soletta superiore	<b>130 kg/mc</b>
Soletta inferiore	<b>130 kg/mc</b>

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un' armatura longitudinale diffusa  $\phi 12/20$  ed un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature e spille.



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**  
**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA**  
**DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**

IN52 – Prolungamento tombino al km 28+747  
*Relazione di calcolo scatolare 2x2*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5200001	B	54 di 57

## **11. DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)**

### **11.1 Tipo di analisi svolte**

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

### **11.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo**

Titolo: SAP2000 Ultimate

Versione: 21.0.2

Produttore: CSI Computers and Structures, Inc.

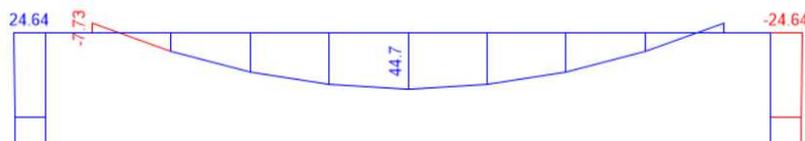
### **11.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a valutazione che ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali.

In particolare, è stato confrontato il valore del momento flettente in campata del solettone superiore con i rispettivi valori ottenuti per uno schema statico a trave appoggiata (limite superiore) e per uno schema a trave doppiamente incastrata (limite inferiore).

Come carico di confronto è stato utilizzato il carico permanente non strutturale  $G_2=104.86$  kN/m.

La figura seguente mostra il momento flettente ottenuto dal modello agli elementi finiti utilizzato per le verifiche:



<b>Calcolo analitico_trave appoggiata</b>			
Carico uniformemente distribuito	$G_2$	104.86	kN/m
Luce di calcolo	L	2.3	m
Momento in campata	$M_{1/2}$	69.34	kNm/m
<b>Calcolo analitico_trave incastrata</b>			
Carico uniformemente distribuito	$G_2$	104.86	kN/m
Luce di calcolo	L	2.3	m
Momento in campata	$M_{1/2}$	23.11	kNm/m
<b>SAP2000</b>			
Momento in campata	$M_{1/2}$	44.70	kNm/m
<b>Momento in campata_trave incastrata</b>			
	Lim.Inf.	23.11	kNm/m
<b>Momento in campata_SAP2000</b>			
		44.70	kNm/m
<b>Momento in campata_trave appoggiata</b>			
	Lim.Sup.	69.34	kNm/m
<b>Momento in campata_trave semi-incastrata</b>			
	$M_{1/2}$	46.23	kNm/m
Errore	e	<b>3.3%</b>	

Come si nota, il valore del momento restituito dal programma di calcolo cade all'interno dei valori limite ottenuti dai due schemi statici adottati. Il vincolo effettivo è quindi assimilabile ad un semi-incastro. Nella tabella precedente è riportato anche l'errore percentuale, in valore assoluto, tra il modello agli elementi finiti adottato e lo schema statico di trave con semi-incastri alle estremità.

Dal confronto numerico delle deformate e dello stato sollecitativo, si ritengono i risultati del calcolo congrui con le azioni applicate e la geometria del problema.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto, i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.