

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE.....	5
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI.....	9
5.1 Profondità della falda.....	9
6. ANALISI DEI CARICHI	10
6.1 Pesì propri.....	10
6.2 Permanenti non strutturali.....	10
6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario).....	11
6.4 Azione di avviamento / frenatura	14
6.5 Azione di serpeggio	14
6.6 Azione del sisma.....	14
6.7 Ritiro del calcestruzzo	17
6.8 Variazione termica.....	17
6.9 Spinta statica del terreno.....	17
6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale	18
6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche	18
7. COMBINAZIONE DEI CARICHI.....	19
8. VERIFICHE STRUTTURALI	21
8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione.....	21
8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio.....	21
8.3 Verifica agli stati limite d’esercizio.....	23
9. ANALISI STRUTTURALE	24
9.1 Modellazione strutturale : Scatolare	24

9.2	Analisi dei carichi	26
9.3	Combinazioni.....	29
9.4	Sollecitazioni	32
9.5	Verifiche strutturali.....	36
9.5.1	Verifica piedritti	36
9.5.2	Verifica soletta superiore.....	42
9.5.3	Verifica soletta inferiore.....	48
10.	INCIDENZA SCATOLARE	54
11.	DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)	55
11.1	Tipo di analisi svolte.....	55
11.2	Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	55
11.3	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	55



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

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	3 di 57

1. PREMESSA

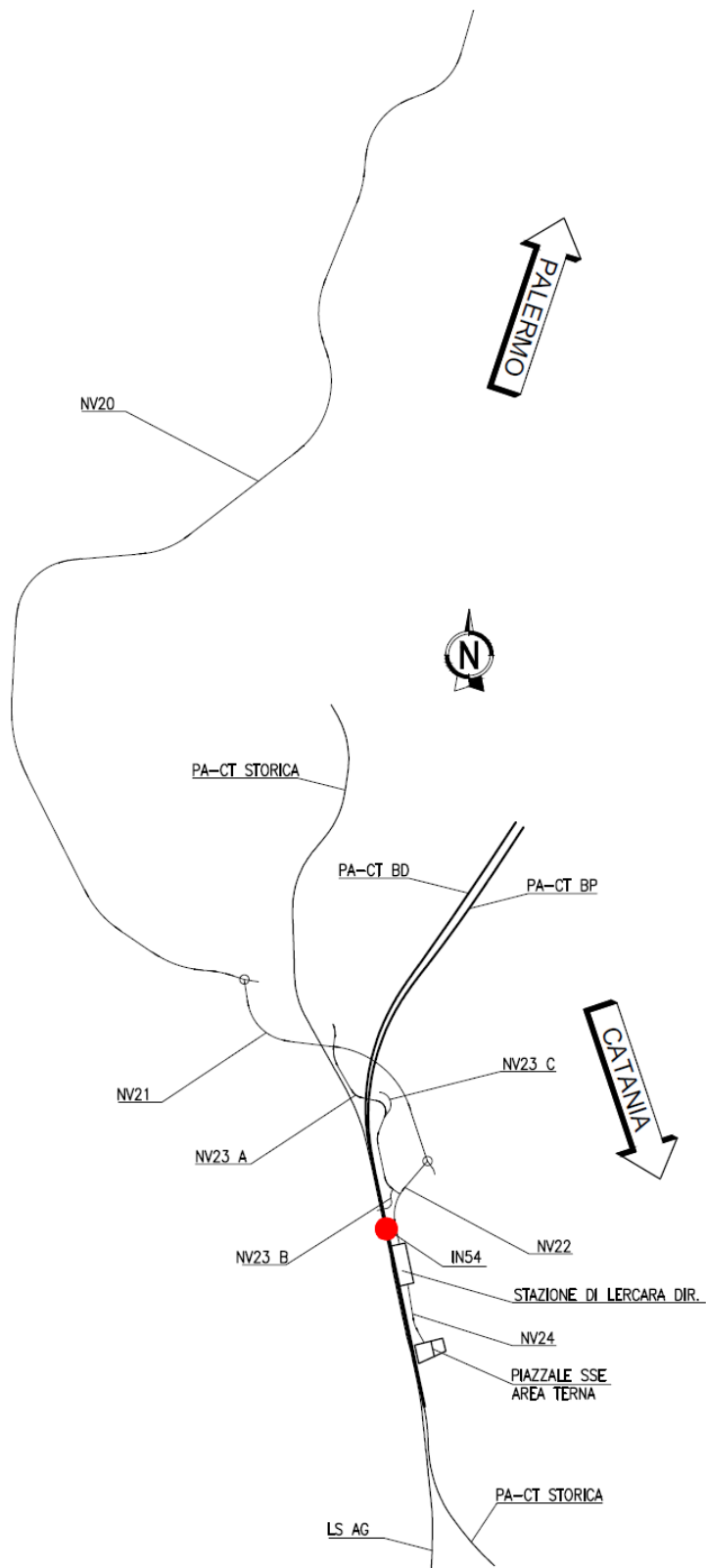
Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla progettazione definitiva del collegamento Palermo-Catania, raddoppio tratta Fiumetorto-Lercara Diramazione, appartenente alla Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

La presente relazione descrive il tombino di linea IN54 alla progr. 28+986 avente sezione interna *3.0x3.0m*.

Segue l'ubicazione dell'opera.

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	4 di 57



2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale dell'opera scatolare IN54 alla progressiva 28+986, utilizzabile per attraversamenti ferroviari, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Geometria del tombino			
Larghezza totale	Ltot	3.60	m
Altezza totale	Htot	3.60	m
Spessore soletta superiore	ss	0.40	m
Spessore piedritti	sp	0.40	m
Spessore soletta inferiore	sf	0.40	m
Luce libera	Lint	3.00	m
Altezza libera	Hint	3.00	m

Il tombino presenta un ricoprimento di circa 3.77 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	3.72	m
Imperm. più massetto cls sp. 5 cm	Hr	0.05	m

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

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2												
IN54 – Nuovo tombino al km 28+986 <i>Relazione di calcolo scatolare 3x3</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>CLIN5400001</td> <td>B</td> <td>6 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	6 di 57
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	6 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;

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

MAGRONE - C12/15

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

CALCESTRUZZO CLASSE 30/37

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

Acciaio ad aderenza migliorata B450C

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza caratteristica di rottura	$f_{t nom}$		N/mm ²	540
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{y nom}$		N/mm ²	450
Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio	γ_s		-	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	f_{yk} / γ_s	N/mm ²	391.3
Modulo elastico	E_s		N/mm ²	206000
Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.				
Tensione massima di esercizio per l'acciaio	σ_s	$0.75 * f_{yk}$	N/mm ²	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 δ_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	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ [°]			Cu [kPa]			c' [kPa]	Vs [m/s]			Vs,eq [m/s]	Categoria di sottosuolo	G ₀ [MPa]			E _i /E _u [MPa]		E _i [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 ³
Rilevato:	γ_{ril}	= 20.00 kN/m ³
Ballast + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18.00 kN/m ³

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;
- γ_b = peso specifico del ballast;
- H_{sc} = spessore del super compattato;
- γ_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 $150 \text{ kN/m} \times 1$ e il carico verticale dovuto al treno LM71 pari a $250 \text{ kN} / 1.6 \text{ m} \times 1.1 = 172.0 \text{ kN/m}$ 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

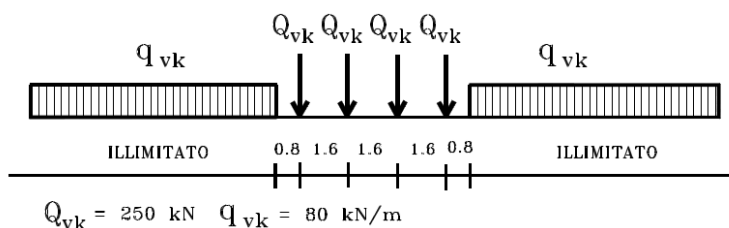
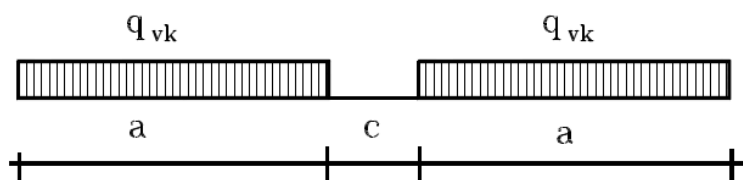


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



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 Φ :

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 Φ sarà:

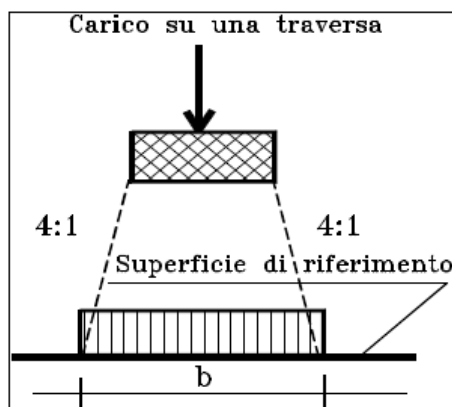
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

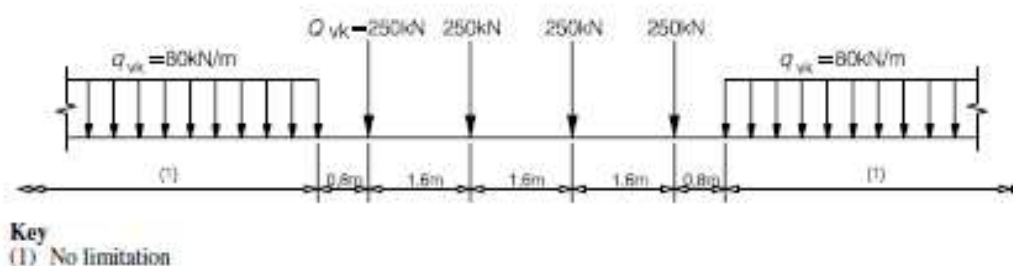
L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri.

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.



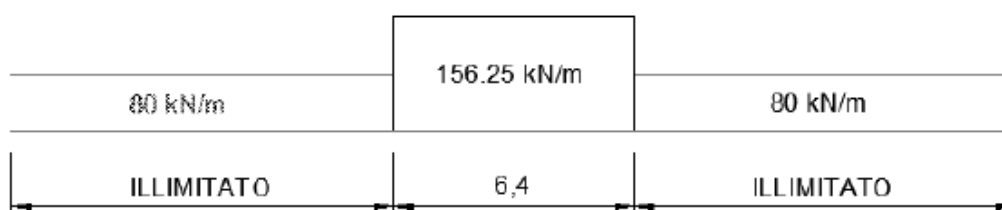
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



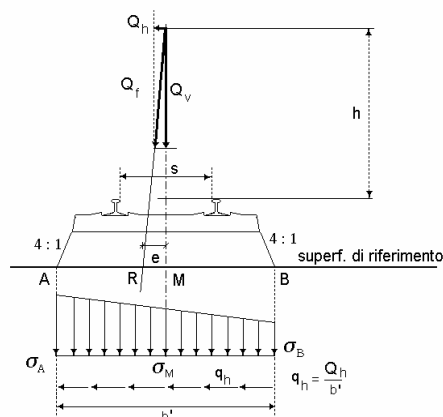
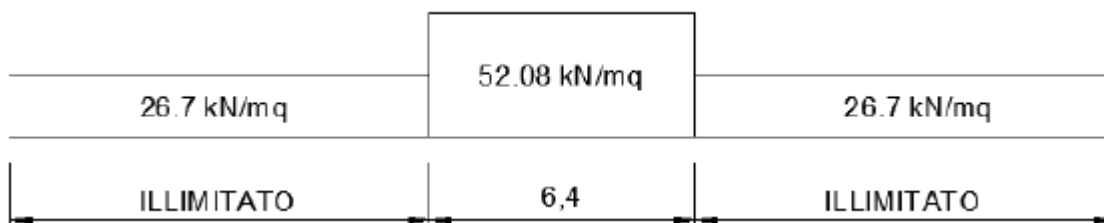
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

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
LATTITUDINE: 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

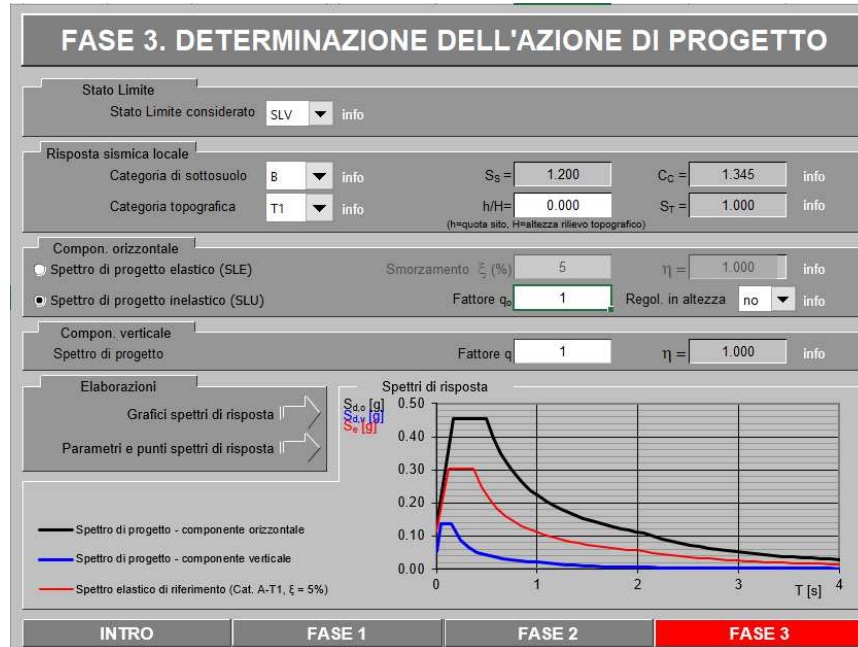
Strategia per costruzioni ordinarie

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
η_1	1.250
T_p	0.164 s
T_c	0.492 s
T_0	2.056 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_i \quad (\text{NTO-09 E4.3.2.5})$$

$$\eta_1 = \sqrt{10} \cdot (\xi + \xi_0) \geq 0.55; \eta_1 = 1/q \quad (\text{NTO-09 E4.3.2.4; 3.2.3.5})$$

$$T_{01} = T_c / 3 \quad (\text{NTO-07 E4.3.2.4})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTO-07 E4.3.2.7})$$

$$T_{01} = 4.0 \cdot a_s / g + 1.6 \quad (\text{NTO-07 E4.3.2.4})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTO-09 E4.3.2.4)

$$0 \leq T < T_{01} \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta_1 \cdot E_s \left[\frac{T}{T_{01}} + \frac{1}{\eta_1 \cdot E_s} \left(1 - \frac{T}{T_{01}} \right) \right]$$

$$T_{01} \leq T < T_c \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta_1 \cdot E_s$$

$$T_c \leq T < T_{02} \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta_1 \cdot E_s \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

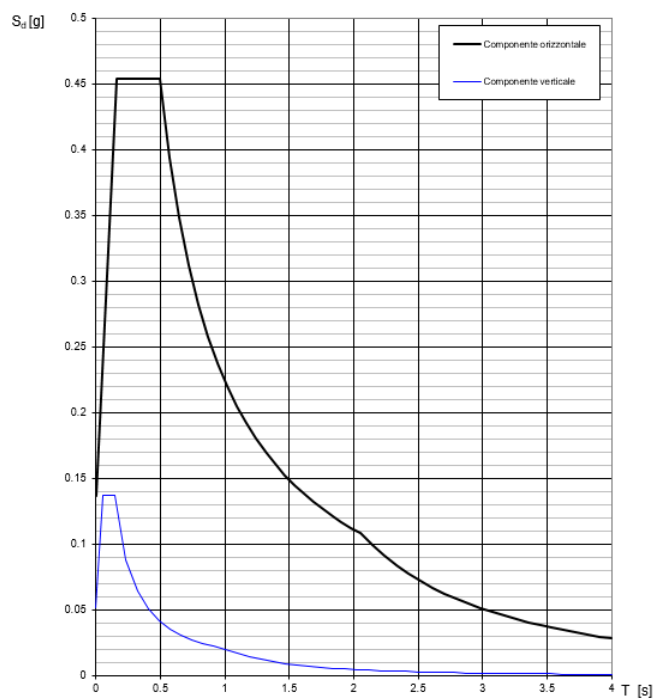
$$T_{02} \leq T \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta_1 \cdot E_s \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per lo Stato Limite Ultimo è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ moltiplicando da η_1 , dove q il fattore di struttura. (NTO-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	0.203
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	0.129
1.684	0.122
1.758	0.127
1.832	0.126
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.

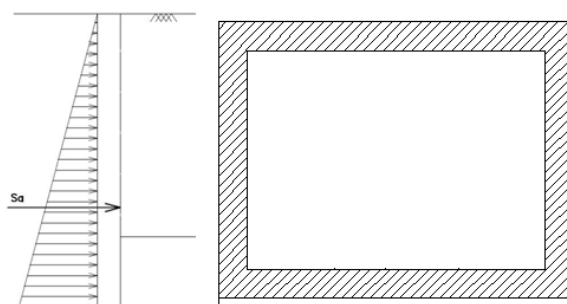


Figura 6.3 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo $k_0 = 1 - \sin\phi'$, dove ϕ' 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.

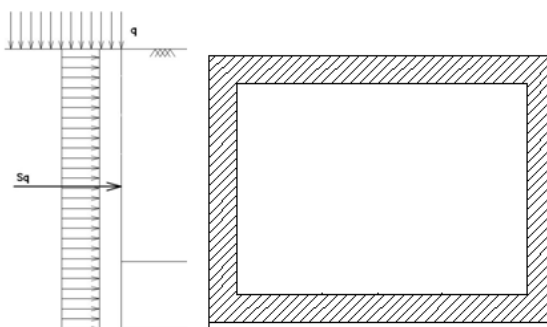


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

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 $H/2$.

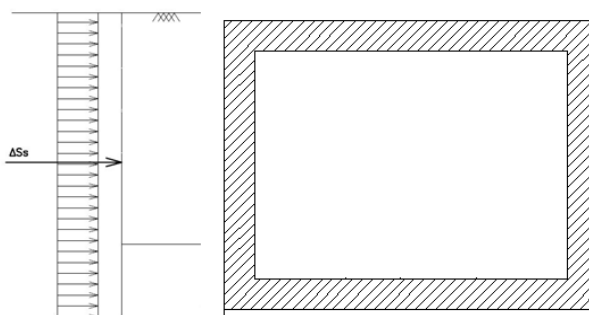


Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

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 (Φ, α , 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 ψ delle tabelle seguenti.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{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 ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_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 ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ 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.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

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

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_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 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	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 ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione ψ 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":

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

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	22 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;

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

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$ 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;

α 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.

	PROGETTO DEFINITIVO DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2					
IN54 – Nuovo tombino al km 28+986 <i>Relazione di calcolo scatolare 3x3</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLIN5400001	REV. B	FOGLIO 23 di 57

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

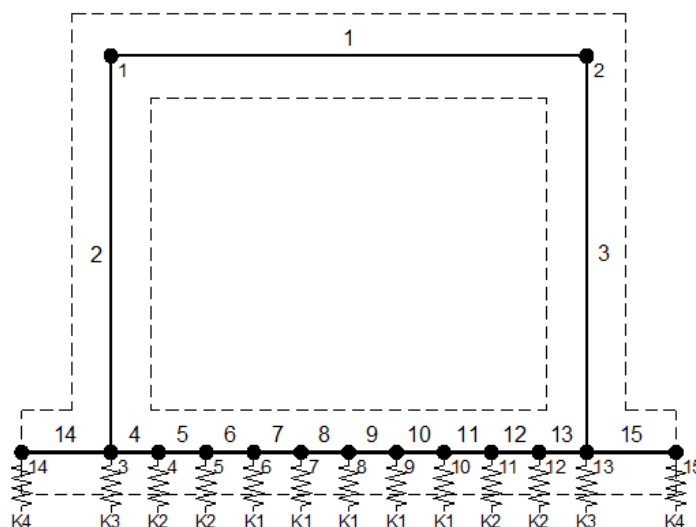
x = asse trasversale dello scatolare

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.



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 quelli riferiti al primo strato della tabella riportata al paragrafo 5.

Per la rigidezza delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale Kw pari a 2500 kN/m³. 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
Ct	fattore di forma (Bowles, 1960)
Kw	coefficiente di sottofondo alla Winkler

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle:

Interasse molle	i	$(0.40/2 + 3.00 + 0.40/2) / 10 =$	0.34 m
Molle centrali	K1	$1600 \cdot 0.34 =$	544 kN/m
Molle intermedie	K2	$1.5 \cdot 1600 \cdot 0.34 =$	816 kN/m
Molle laterali	K3	$2.0 \cdot 1600 \cdot (0.34/2 + 0.40/2) =$	1 184 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

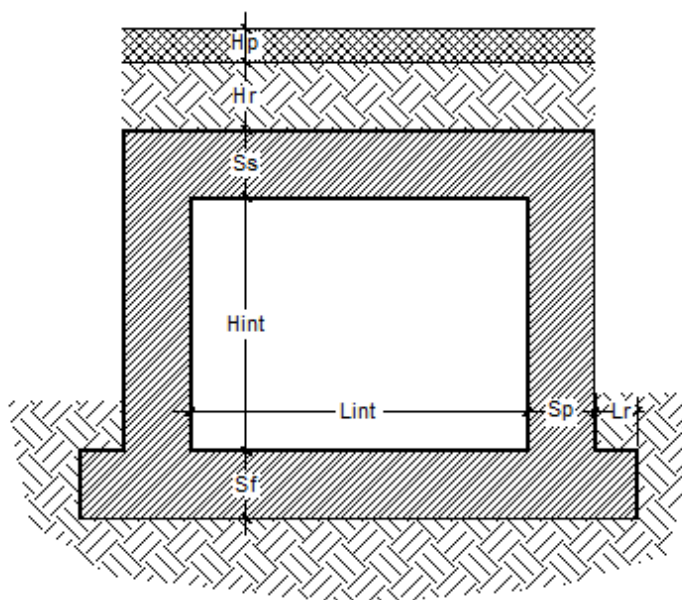
Calcestruzzo armato - Peso specifico	Y		25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo			C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R _{ck}		37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f _{ck}	0.83 · 37 =	30.7	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33000	N/mm ²
Ballast - Peso specifico	Y _b		18	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	Y		20	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ		35	°
Terreno di fondazione	K _w		1600	kN/m ³
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	3.77	m

Geometria

Spessore soletta superiore	S _s	0.40	m
Spessore soletta di fondazione	S _f	0.40	m
Spessore piedritti	S _p	0.40	m
Altezza netta	H _{int}	3.00	m
Larghezza netta	L _{int}	3.00	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 ²
Peso del rinterro	Pr	$3.77 \cdot 20 =$	75.40	kN/m ²
Totale			89.26	kN/m²

Risvolti soletta inferiore

Peso ballast	Ps	-	0.00	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-	0.00	kN/m ²
Totale			0.00	kN/m²

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

Coefficiente dinamico

Lunghezza caratteristica per coeff. din.	L_{ϕ}	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (3.20 + 3.40 + 3.20)$	4.25	m
Coefficiente dinamico	Φ_3	$= 1.35$ se $L_{int} \leq 8$ m e $H_{int} \leq 5$ m	1.00	

Qvk

Coefficiente di adattamento	α		1.10	
Larghezza traversa	Lt		2.40	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.37/4 + 3.77 \times \tan(35^\circ) + 0.40/2) =$	8.26	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)		$1.1 \cdot 1.00 \cdot 1000 / (8.26 \cdot 6.40) =$	20.80	kN/m ²
qvk				
Carico qvk			80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.00 \cdot 80 / 8.26 =$	10.65	kN/m ²

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

Coefficiente di adattamento	α		1.00	
Carico qvk			150	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.00 \cdot 150 / 8.26 =$	18.15	kN/m ²

Per il calcolo della lunghezza caratteristica si fa riferimento a:

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

Avviamento e frenatura (Condizione AVV)

Q1ak (= 33 / Ld1) $33 / 8.26 =$ **3.99 kN/m²**

Azione termica (Condizione TERM)

Variazione termica uniforme	ΔT_U		0 °
Variazione termica a farfalla	ΔT_F		0 °
Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_{U*}	0 / 2 =	0.00 °
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_{F*}	0 / 2 =	0.00 °

Ritiro (Condizione RITIRO)

Ritiro applicato alla sol. Superiore ΔT_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	$0.426 \cdot 89.26 =$	38.06	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.426 \cdot (89.26 + 20 \cdot 0.40/2) =$	39.77	kN/m²
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.426 \cdot [89.26 + 20 \cdot (0.40+3.00+0.40/2)] =$	68.77	kN/m²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.426 \cdot [89.26 + 20 \cdot (0.40+3.00+0.40)] =$	70.47	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(38.06+39.77)/2 \cdot 0.40/2$	7.78	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(68.77+70.47)/2 \cdot 0.40/2$	13.92	kN/m

Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)

Spinta dovuta al q1 $p \quad 0.426 \cdot 1.1 \cdot 1000 / (8.26 \cdot 6.40) =$ **8.87 kN/m²**

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

Spinta dovuta al q1 $p \quad 0.426 \cdot 1 \cdot 150 / (8.26 \cdot 6.40) =$ **1.21 kN/m²**

Sisma orizzontale (Condizione SISMAH)

Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV	
Vita nominale	V_N		75	anni
Classe d'uso			III	
Coefficiente C_U	C_U		1.5	
Periodo di riferimento	V_R		112.5	anni
Accelerazione orizzontale	a_g/g		0.114	
Amplificazione spettrale	F_o		2.652	
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	B	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S_s		1.200	
Coeff. Amplificazione topografica	S_t		1	
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		1.00	
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. $1.1 \cdot 1000 / (8.26 \cdot 6.40) \cdot 3.80 + 1.1 \cdot 80 / 8.26 \cdot 3.80 =$ 119.5 kN/m

Forza orizz. sulla sol. di cop. $F_{Hs} \quad 0.137 \cdot (0.40 \cdot 25 + 89.26 + 0.2 \cdot 119.5 / 3.40) / 1.00 =$ **14.54 kN/m²**

Forza orizz. sui piedritti $F_{Hp} \quad 0.137 \cdot (0.40 \cdot 25) / 1.00 =$ **1.37 kN/m²**

Sisma verticale (Condizione SISMAV)

Forza vert. sulla sol. di cop. $F_{Vs} \quad 0.068 \cdot (0.40 \cdot 25 + 89.26 + 0.2 \cdot 119.5 / 3.40) / 1.00 =$ **7.27 kN/m²**

Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX)

Risultante della spinta sismica $\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.137 \cdot 20 \cdot 8.34^2$ **190.3** kN/m

Pressione risultante $\Delta p_E = \Delta S_E / H = 190.3 / 3.40$ **55.97** kN/m²

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	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	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	0	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	0	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	0	0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0	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	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	0	0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0	1.16
38	38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	0	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	0.00	0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0	1.16
51	51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	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	0	0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0	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	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	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	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	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	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	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

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	31 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.

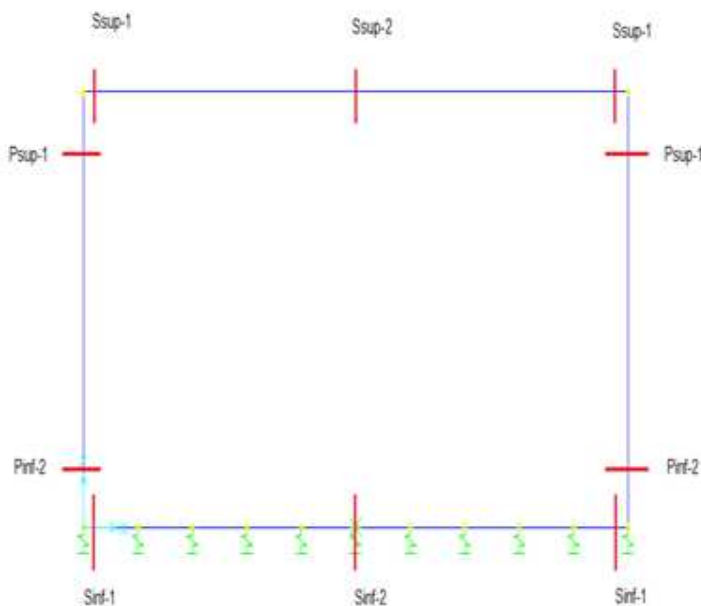


Figura 9.1 - Sezioni di verifica

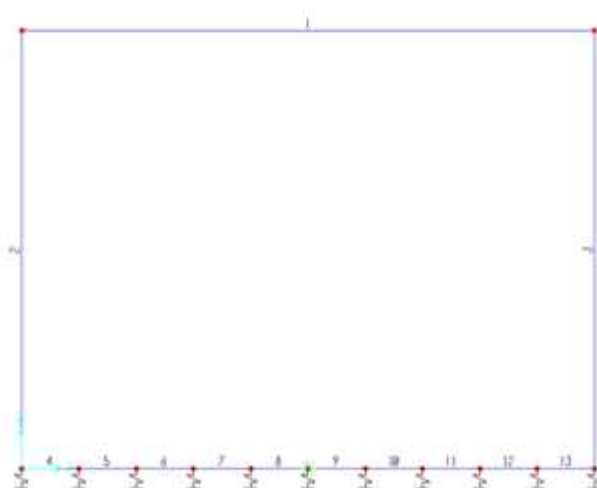


Figura 9.2 - Nomenclatura frame

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	33 di 57

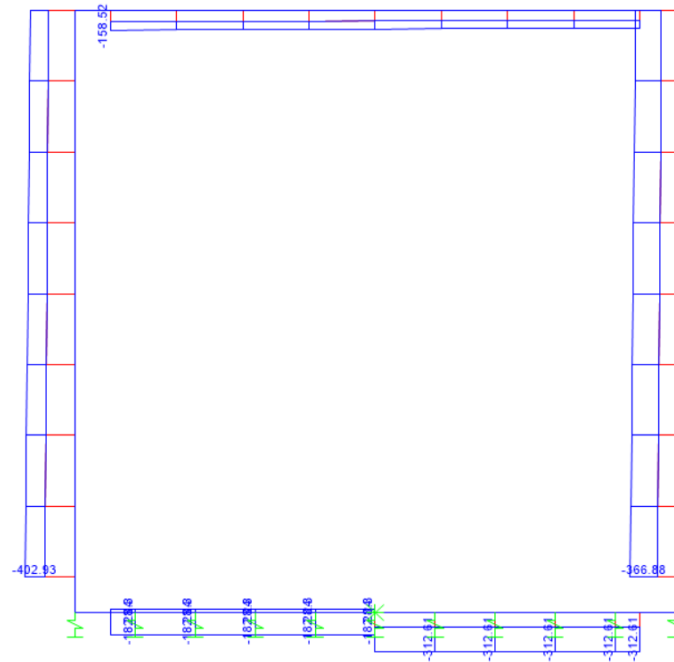


Figura 9.3 - Sforzo Normale – Involuppo SLU

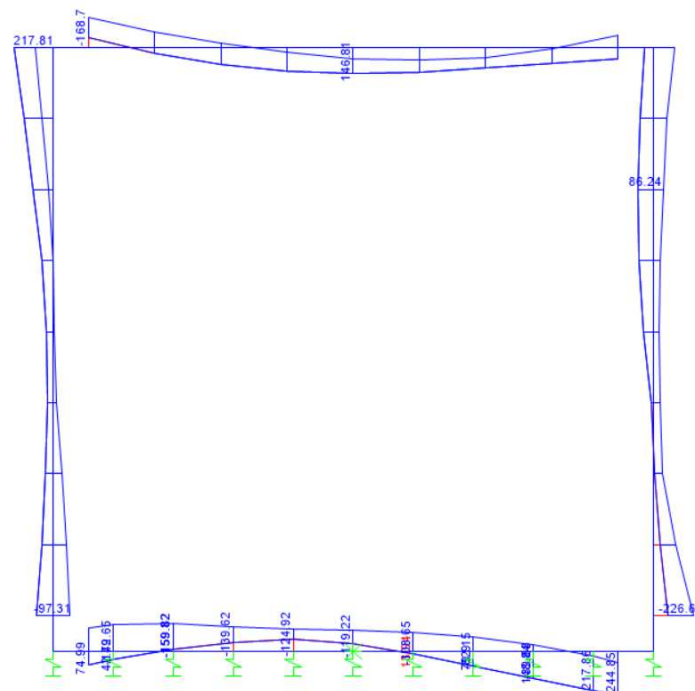


Figura 9.4 - Momento flettente – Involuppo SLU

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	34 di 57

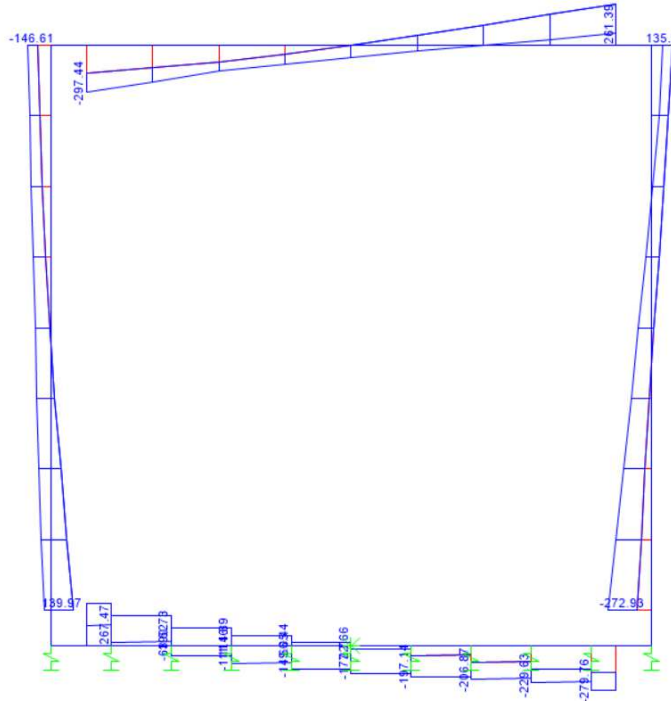


Figura 9.5 - Taglio – Inviluppo SLU

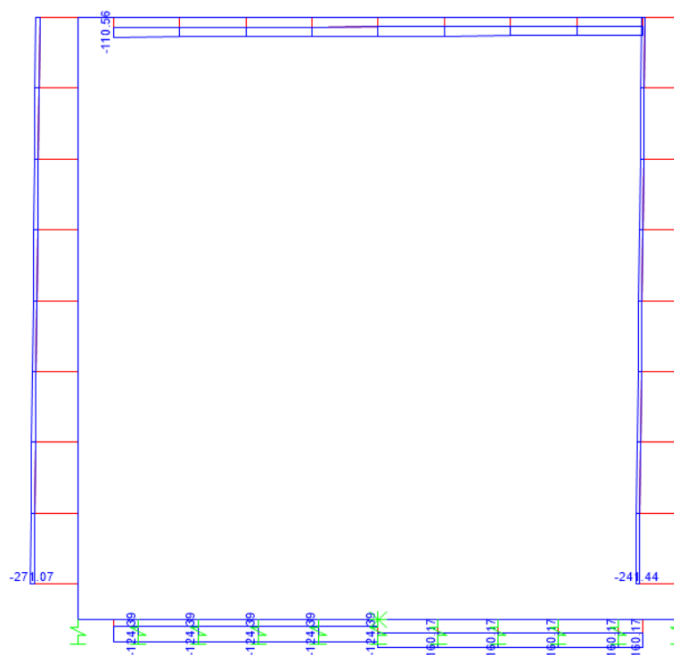


Figura 9.6 - Sforzo Normale – Inviluppo SLE-Rara

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	35 di 57

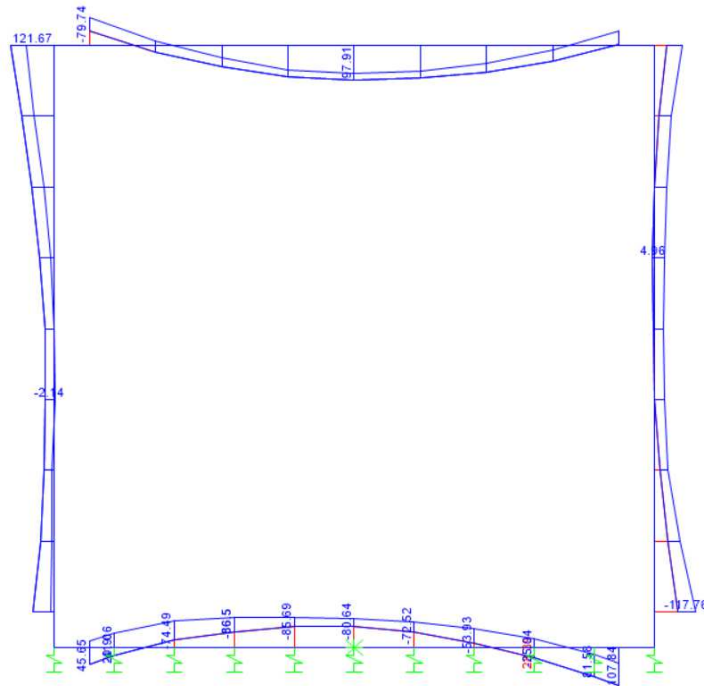


Figura 9.7 - Momento flettente – Inviluppo SLE-Rara

9.5 Verifiche strutturali

9.5.1 Verifica piedritti

Sezione: 40 x 100 cm

Armatura a flessione:

- Sommità (Pied-Sommità)

Armatura tesa

φ 24/20 cm

Armatura compressa

φ 24/20 cm

- Spiccato (Pied-Spicc)

Armatura tesa

φ 24/20 cm

Armatura compressa

φ 24/20 cm

Armatura a taglio:

Spille φ 12/20x20 cm.

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	37 di 57

• Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione h	= 40 cm
Base della sezione b	= 100 cm
Copriferro d'	= 8.2 cm
Altezza utile della sezione d	= 31.8 cm

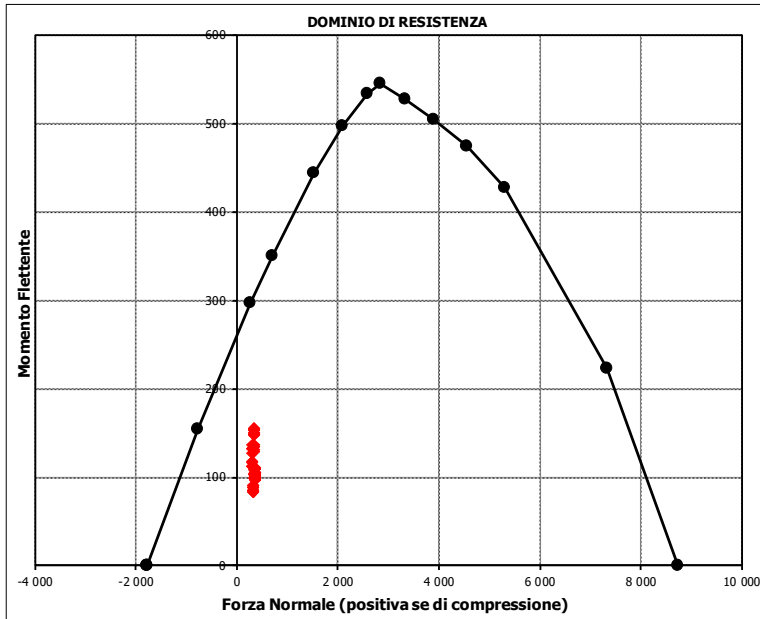
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		22.62	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		22.62	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax) Fr_3St_01S	367	98	
(Nmin) Fr_3St_72S	145	221	
(Mmax) Fr_3St_75S	153	227	
(Mmin) Fr_3St_38S	321	84	

Caratteristiche di sollecitazioni

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	367	98	53S3-11M	362	105
02S1-11T	367	98	54S3-11T	362	105
03S1-12M	367	104	55S3-12M	362	111
04S1-12T	367	104	56S3-12T	362	111
05S1-13M	346	150	57S3-13M	341	157
06S1-13T	346	150	58S3-13T	341	157
07S1-14	321	86	59S3-14S	355	104
08S1-15	299	132	60S3-15S	355	108
09S1-16S	360	97	61S3-16S	342	137
10S1-17S	360	100	62S3-21M	362	110
11S1-18S	347	129	63S3-21T	362	110
12S1-19S	321	84	64S3-22M	362	116
13S1-20S	307	113	65S3-22T	362	116
14S1-21M	367	103	66S3-23M	343	158
15S1-21T	367	103	67S3-23T	343	158
16S1-22M	367	109	68S3-24S	355	109
17S1-22T	367	109	69S3-25S	355	113
18S1-23M	346	155	70S3-26S	343	141
19S1-23T	346	155	71SSS1--	153	223
20S1-24	321	91	72SSS2--	145	221
21S1-25	299	137	73SSS3--	205	134
22S1-26S	360	102	74SSS4--	180	129
23S1-27S	360	105	75SSS5--	153	227
24S1-28S	347	134	76SSS6--	145	225
25S1-29S	321	89	77SSS7--	205	138
26S1-30S	307	118	78SSS8--	180	132
27S1T11M	354	100	79SSS9S	153	220
28S1T11T	354	100	80SSS10S	146	219
29S1T12M	354	106	81SSS11S	205	131
30S1T12T	354	106	82SSS12S	180	126
31S1T13M	334	148	83SSS13S	153	224
32S1T13T	334	148	84SSS14S	146	222
33S1T14	321	85	85SSS15S	205	135
34S1T15	301	127	86SSS16S	180	129
35S1T16S	348	99			
36S1T17S	348	103			
37S1T18S	336	131			
38S1T19S	321	84			
39S1T20S	308	112			
40S1T21M	354	105			
41S1T21T	354	105			
42S1T22M	354	111			
43S1T22T	354	111			
44S1T23M	334	153			
45S1T23T	334	153			
46S1T24	321	90			
47S1T25	301	132			
48S1T26S	348	104			
49S1T27S	348	108			
50S1T28S	336	136			
51S1T29S	321	89			
52S1T30S	308	117			



IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	38 di 57

• Verifica a pressoflessione sommità (Pied-Sommità)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.2$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 31.8$ cm

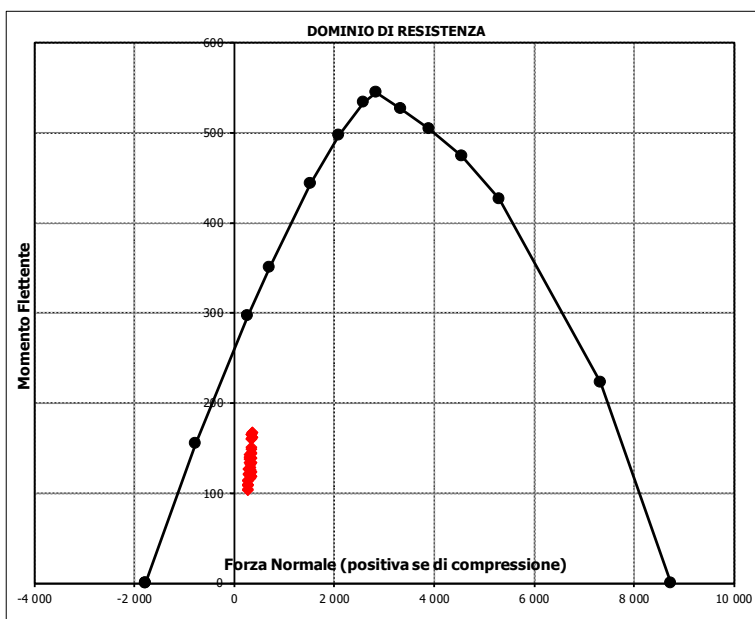
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	cm ²
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		22.62	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	cm ²
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		22.62	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_2St_57S	360	176
(Nmin)	Fr_2St_82S	213	127
(Mmax)	Fr_2St_71S	274	218
(Mmin)	Fr_2St_51S	277	104

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	334	124	53S3-11M	338 132
02S1-11T	334	124	54S3-11T	338 132
03S1-12M	334	139	55S3-12M	338 147
04S1-12T	334	139	56S3-12T	338 147
05S1-13M	355	167	57S3-13M	360 176
06S1-13T	355	167	58S3-13T	360 176
07S1-14	277	115	59S3-14S	332 130
08S1-15	299	143	60S3-15S	332 140
09S1-16S	327	122	61S3-16S	345 157
10S1-17S	327	132	62S3-21M	338 127
11S1-18S	340	149	63S3-21T	338 127
12S1-19S	277	109	64S3-22M	338 141
13S1-20S	290	127	65S3-22T	338 141
14S1-21M	334	118	66S3-23M	358 167
15S1-21T	334	118	67S3-23T	358 167
16S1-22M	334	134	68S3-24S	332 125
17S1-22T	334	134	69S3-25S	332 134
18S1-23M	355	162	70S3-26S	345 151
19S1-23T	355	162	71SSS1-	274 218
20S1-24-	277	109	72SSS2-	267 216
21S1-25-	299	138	73SSS3-	239 137
22S1-26S	327	116	74SSS4-	215 130
23S1-27S	327	126	75SSS5-	274 214
24S1-28S	340	143	76SSS6-	267 211
25S1-29S	277	104	77SSS7-	239 133
26S1-30S	290	121	78SSS8-	215 126
27S1T11M	326	125	79SSS9S	272 215
28S1T11T	326	125	80SSS10S	265 213
29S1T12M	326	140	81SSS11S	237 135
30S1T12T	326	140	82SSS12S	213 127
31S1T13M	346	165	83SSS13S	272 211
32S1T13T	346	165	84SSS14S	265 209
33S1T14-	277	114	85SSS15S	237 131
34S1T15-	297	139	86SSS16S	213 123
35S1T16S	321	124		
36S1T17S	321	134		
37S1T18S	334	151		
38S1T19S	277	109		
39S1T20S	290	126		
40S1T21M	326	120		
41S1T21T	326	120		
42S1T22M	326	134		
43S1T22T	326	134		
44S1T23M	346	160		
45S1T23T	346	160		
46S1T24-	277	108		
47S1T25-	297	134		
48S1T26S	321	118		
49S1T27S	321	128		
50S1T28S	334	145		
51S1T29S	277	104		
52S1T30S	290	121		



- 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		273
R_{ck}	37 N/mm ²	N_{Ed}	kN		0
f_{ck}	30.7 N/mm ²	Armatura a taglio			
γ_c	1.5	Diametro	mm		12
α_{cc}	0.85	Numero barre			5
f_{cd}	17.4 N/mm ²	A_{sw}	cm ²		5.65
Acciaio		Passo s	cm		20
f_{tk}	540 N/mm ²	Angolo α	°		90
f_{yk}	450 N/mm ²	Armatura longitudinale			
γ_s	1.15	n_1			5
f_{yd}	391 N/mm ²	\varnothing_1	mm		24
		n_2			-
		\varnothing_2	mm		-
		Asl	cm ²		22.62
		Sezione			
		b_w	cm		100
		H	cm		40
		c	cm		8.2
		d	cm		31.8
		k	N/mm ²		1.79
		v_{min}	N/mm ²		0.47
		ρ			0.0071
		σ_{cp}	N/mm ²		0.00
		α_c			1.00
		Resistenza senza armatura a taglio			
		V_{Rd}	kN		191
		Resistenza con armatura a taglio			
		Inclinazione puntone θ	°		21.8
		V_{RSd}	kN		792
		V_{RCd}	kN		859
		V_{Rd}	kN		792

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	40 di 57

• Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spice)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	117.76	kN m
Sforzo normale	N	223	kN

Materiali

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

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS ₁ '	22.62	cm ²	5 Ø 24	C _{s1} = 8.2 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS ₂ '	0.00	cm ²	0 Ø 0	C _{s2} = 9.4 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS ₂	0.00	cm ²	0 Ø 0	C _{t2} = 9.4 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS ₁	22.62	cm ²	5 Ø 24	C _{t1} = 8.2 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	6.7	N/mm ²	< σ _{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	139.7	N/mm ²	< σ _{samm}

Eccentricità	e (M)	52.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	32.9	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	13.4	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	4633	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	627819.3713	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	203850.6436	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess*}	89	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f _{ctm})	M _{fess}	120	kN m	
Eccentricità per M=M _{fess}	e (M _{fess})	54.1	cm	
	u (M _{fess})	34.1	cm	
Compressione max nel cls. per M=M _{fess}	σ _{cr}	6.9		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M _{fess}	σ _{sr}	144.0	N/mm ²	
Posizione asse neutro per M=M _{fess}	y (M _{fess})	13.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k _t	0.6		
Altezza efficace	h _{c,eff}	8.90	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α _e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS _{eff}	22.62	cm ²	
Area efficace	AC _{eff}	890.11	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ _{eff}	0.0254	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ε _{sm}	0.000288078	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K ₁	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K ₂	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K ₃	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K ₄	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	φ _{eq}	24.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs _{max}	330.5546191	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs _m	194.4438936	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w _m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w _d	0.10	mm	

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	41 di 57

- Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	121.67	kN m
Sforzo normale	N	239	kN

Materiali

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

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	22.62	cm ²	5 Ø 24	$C_{s1} = 8.2$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{t2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ²	5 Ø 24	$C_{t1} = 8.2$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	7.0	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	142.5	N/mm ²	< σ_{amm}

Eccentricità	e (M)	50.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	30.9	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	13.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4633	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	627819.3713	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	204780.42	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	90	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	122	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	50.8	cm	
	u (M_{fess})	30.8	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	7.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	142.3	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	13.5	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	8.85	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.62	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	884.64	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0256	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.00028457	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	24.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	329.5681665	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	193.8636273	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.09	mm	



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

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	42 di 57

9.5.2 Verifica soletta superiore

Sezione: 40 x 100 cm

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solsup-App)

Armatura tesa

ϕ 24/20 cm

Armatura compressa

ϕ 24/20 cm

- Campata (Solsup-Camp)

Armatura tesa

ϕ 24/20 cm

Armatura compressa

ϕ 24/20 cm

Armatura a taglio:

Spille ϕ 12/20x20 cm.

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	43 di 57

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solsup-App)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
Resistenza caratteristica	$R_{ck} = 37$ N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{ck} = 30.71$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_c = 1.5$
Resistenza di calcolo	$f_{cd} = 20.5$ N/mm ²
Coeff. di attrito	$f_{ctc} = 17.4$ N/mm ²

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.2$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 31.8$ cm

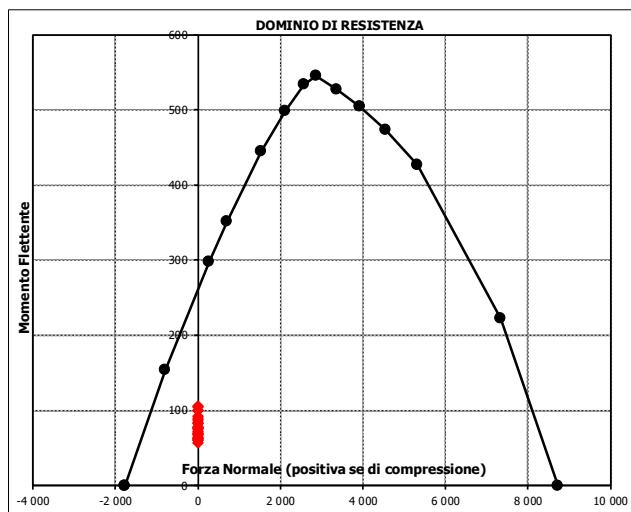
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
22.62 cm²			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
22.62 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_1St_01 ^c	0	66
(Nmin)	Fr_1St_01 ^s	0	66
(Mmax)	Fr_1St_71 ^c	0	169
(Mmin)	Fr_1St_51 ^c	0	57

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	66	53S3-11M	0	73
02S1-11T	0	66	54S3-11T	0	73
03S1-12M	0	81	55S3-12M	0	89
04S1-12T	0	81	56S3-12T	0	89
05S1-13M	0	105	57S3-13M	0	113
06S1-13T	0	105	58S3-13T	0	113
07S1-14-	0	68	59S3-14S	0	72
08S1-15-	0	92	60S3-15S	0	82
09S1-16S	0	65	61S3-16S	0	97
10S1-17S	0	75	62S3-21M	0	68
11S1-18S	0	90	63S3-21T	0	68
12S1-19S	0	62	64S3-22M	0	82
13S1-20S	0	77	65S3-22T	0	82
14S1-21M	0	60	66S3-23M	0	104
15S1-21T	0	60	67S3-23T	0	104
16S1-22M	0	76	68S3-24S	0	67
17S1-22T	0	76	69S3-25S	0	77
18S1-23M	0	100	70S3-26S	0	91
19S1-23T	0	100	71SSS1--	0	169
20S1-24-	0	62	72SSS2--	0	168
21S1-25-	0	86	73SSS3--	0	95
22S1-26S	0	60	74SSS4--	0	92
23S1-27S	0	70	75SSS5--	0	165
24S1-28S	0	84	76SSS6--	0	164
25S1-29S	0	57	77SSS7--	0	91
26S1-30S	0	72	78SSS8--	0	88
27S1T11M	0	69	79SSS9S	0	167
28S1T11T	0	69	80SSS10S	0	166
29S1T12M	0	83	81SSS11S	0	93
30S1T12T	0	83	82SSS12S	0	90
31S1T13M	0	105	83SSS13S	0	163
32S1T13T	0	105	84SSS14S	0	162
33S1T14-	0	66	85SSS15S	0	89
34S1T15-	0	88	86SSS16S	0	86
35S1T16S	0	68			
36S1T17S	0	78			
37S1T18S	0	93			
38S1T19S	0	62			
39S1T20S	0	76			
40S1T21M	0	64			
41S1T21T	0	64			
42S1T22M	0	78			
43S1T22T	0	78			
44S1T23M	0	100			
45S1T23T	0	100			
46S1T24-	0	61			
47S1T25-	0	83			
48S1T26S	0	63			
49S1T27S	0	73			
50S1T28S	0	87			
51S1T29S	0	57			
52S1T30S	0	71			



IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	44 di 57

• Verifica a pressoflessione campata (Solsup-Camp)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R _{ck}	37 N/mm ²
f _{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f _{cd}	20.5 N/mm ²
f _{ct}	17.4 N/mm ²

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.2$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 31.8$ cm

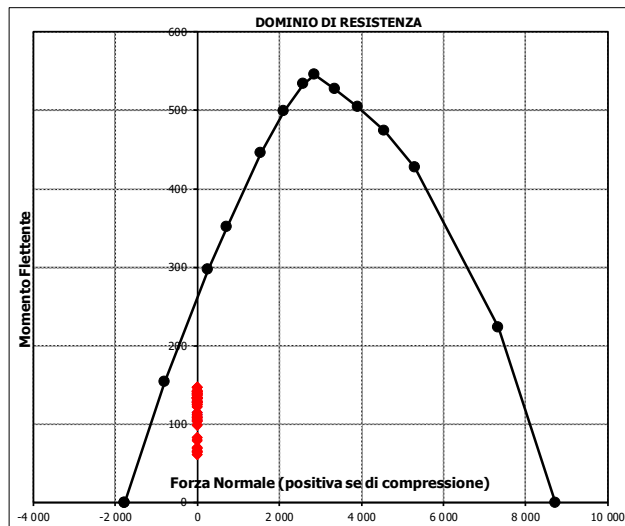
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			22.62 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			22.62 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax) Fr_1St_01S	0	141	
(Nmin) Fr_1St_01S	0	141	
(Mmax) Fr_1St_14S	0	147	
(Mmin) Fr_1St_80S	0	61	

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	141	53S3-11M	0	141
02S1-11T	0	141	54S3-11T	0	141
03S1-12M	0	126	55S3-12M	0	126
04S1-12T	0	126	56S3-12T	0	126
05S1-13M	0	134	57S3-13M	0	134
06S1-13T	0	134	58S3-13T	0	134
07S1-14-	0	98	59S3-14S	0	138
08S1-15-	0	106	60S3-15S	0	128
09S1-16S	0	138	61S3-16S	0	133
10S1-17S	0	128	62S3-21M	0	147
11S1-18S	0	133	63S3-21T	0	147
12S1-19S	0	104	64S3-22M	0	133
13S1-20S	0	109	65S3-22T	0	133
14S1-21M	0	147	66S3-23M	0	140
15S1-21T	0	147	67S3-23T	0	140
16S1-22M	0	131	68S3-24S	0	143
17S1-22T	0	131	69S3-25S	0	133
18S1-23M	0	139	70S3-26S	0	138
19S1-23T	0	139	71SSS1--	0	65
20S1-24-	0	104	72SSS2--	0	61
21S1-25-	0	111	73SSS3--	0	79
22S1-26S	0	143	74SSS4--	0	66
23S1-27S	0	133	75SSS5--	0	69
24S1-28S	0	138	76SSS6--	0	65
25S1-29S	0	109	77SSS7--	0	83
26S1-30S	0	114	78SSS8--	0	70
27S1T11M	0	136	79SSS9S	0	65
28S1T11T	0	136	80SSS10S	0	61
29S1T12M	0	122	81SSS11S	0	79
30S1T12T	0	122	82SSS12S	0	66
31S1T13M	0	129	83SSS13S	0	69
32S1T13T	0	129	84SSS14S	0	65
33S1T14-	0	99	85SSS15S	0	83
34S1T15-	0	106	86SSS16S	0	70
35S1T16S	0	133			
36S1T17S	0	123			
37S1T18S	0	128			
38S1T19S	0	104			
39S1T20S	0	109			
40S1T21M	0	141			
41S1T21T	0	141			
42S1T22M	0	127			
43S1T22T	0	127			
44S1T23M	0	134			
45S1T23T	0	134			
46S1T24-	0	105			
47S1T25-	0	112			
48S1T26S	0	138			
49S1T27S	0	129			
50S1T28S	0	134			
51S1T29S	0	109			
52S1T30S	0	114			



- 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		297
R_{ck}	37 N/mm ²	N_{Ed}	kN		0
f_{ck}	30.7 N/mm ²	Armatura a taglio			
γ_c	1.5	Diametro	mm		12
α_{cc}	0.85	Numero barre			5
f_{cd}	17.4 N/mm ²	A_{sw}	cm ²		5.65
Acciaio		Passo s	cm		20
f_{tk}	540 N/mm ²	Angolo α	°		90
f_{yk}	450 N/mm ²	Armatura longitudinale			
γ_s	1.15	n_1			5
f_{yd}	391 N/mm ²	\varnothing_1	mm		24
		n_2			-
		\varnothing_2	mm		-
		Asl	cm ²		22.62
		Sezione			
		b_w	cm		100
		H	cm		40
		c	cm		8.2
		d	cm		31.8
		k	N/mm ²		1.79
		v_{min}	N/mm ²		0.47
		ρ			0.0071
		σ_{cp}	N/mm ²		0.00
		α_c			1.00
		Resistenza senza armatura a taglio			
		V_{Rd}	kN		191
		Resistenza con armatura a taglio			
		Inclinazione puntone θ	°		21.8
		V_{RSd}	kN		792
		V_{RCd}	kN		859
		V_{Rd}	kN		792

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	46 di 57

- Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	79.74	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R _{ck}	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f _{ck}	30.71	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E _{cm}	33019.43	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ _{camm}	16.9	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f _{ctm}	3.4	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f _{ctk}	2.3	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f _{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E _s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ _{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS ₁ '	22.62	cm ²	5 Ø 24	C _{s1} = 8.2 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS ₂ '	0.00	cm ²	0 Ø 0	C _{s2} = 9.4 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS ₂	0.00	cm ²	0 Ø 0	C _{t2} = 9.4 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS ₁	22.62	cm ²	5 Ø 24	C _{t1} = 8.2 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	4.5	N/mm ²	< σ _{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	128.2	N/mm ²	< σ _{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	11.0	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	4633	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	627819.3713	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	193816.1677	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess*}	74	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f _{ctm})	M _{fess}	105	kN m	
Eccentricità per M=M _{fess}	e (M _{fess})	∞	cm	
	u (M _{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per M=M _{fess}	σ _{cr}	6.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M _{fess}	σ _{sr}	169.4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per M=M _{fess}	y (M _{fess})	11.0	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k _t	0.6		
Altezza efficace	h _{c,eff}	9.66	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α _e	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	AS _{eff}	22.62	cm ²	
Area efficace	AC _{eff}	965.59	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ _{eff}	0.0234	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ε _{sm}	0.000345744	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K ₁	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K ₂	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K ₃	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K ₄	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	φ _{eq}	24.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs _{max}	344.1696743	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs _m	202.4527496	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w _m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w _d	0.12	mm	

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	47 di 57

- Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	97.91	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

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

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm	
Larghezza sezione	B	100	cm	
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	22.62	cm ²	5 Ø 24 $C_{s1} = 8.2$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0 $C_{s2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	0 Ø 0 $C_{t2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ²	5 Ø 24 $C_{t1} = 8.2$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.6	N/mm ²	< σ_{Camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	157.4	N/mm ²	< σ_{Samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	11.0	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4633	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	627819.3713	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	193816.1677	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	74	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	105	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	169.4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.0	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	9.66	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.62	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	965.59	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0234	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000345744	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	ϕ_{eq}	24.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	344.1697	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	202.4527647	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	



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

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	48 di 57

9.5.3 Verifica soletta inferiore

Sezione: 40 x 100 cm

Armatura a flessione:

- Appoggio (Solinf-App)

Armatura tesa

ϕ 24/20 cm

Armatura compressa

ϕ 24/20 cm

- Campata (Solinf-Camp)

Armatura tesa

ϕ 24/20 cm

Armatura compressa

ϕ 24/20 cm

Armatura a taglio:

Spille ϕ 12/20x20 cm.

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	49 di 57

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solinf-App)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.2$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 31.8$ cm

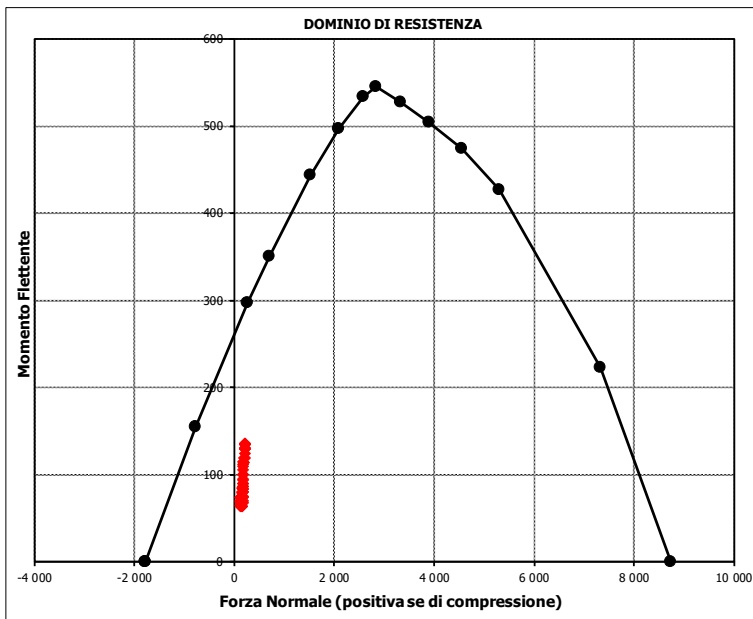
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	cm ²
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		22.62	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	cm ²
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		22.62	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_13St_76	313	244
(Nmin)	Fr_13St_01	118	64
(Mmax)	Fr_13St_75	312	245
(Mmin)	Fr_13St_36	157	63

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	118	64	53S3-11M	122	72
02S1-11T	118	64	54S3-11T	122	72
03S1-12M	182	81	55S3-12M	187	89
04S1-12T	182	81	56S3-12T	187	89
05S1-13M	210	130	57S3-13M	215	139
06S1-13T	210	130	58S3-13T	215	139
07S1-14-	179	69	59S3-14S	123	72
08S1-15-	207	119	60S3-15S	166	83
09S1-16S	118	64	61S3-16S	184	114
10S1-17S	161	75	62S3-21M	126	78
11S1-18S	179	106	63S3-21T	126	78
12S1-19S	158	64	64S3-22M	186	93
13S1-20S	175	95	65S3-22T	186	93
14S1-21M	121	70	66S3-23M	211	139
15S1-21T	121	70	67S3-23T	211	139
16S1-22M	186	86	68S3-24S	126	78
17S1-22T	186	86	69S3-25S	169	88
18S1-23M	214	136	70S3-26S	186	119
19S1-23T	214	136	71SSS1--	310	241
20S1-24-	182	75	72SSS2--	310	240
21S1-25-	210	125	73SSS3--	189	130
22S1-26S	121	69	74SSS4--	190	129
23S1-27S	165	80	75SSS5--	312	245
24S1-28S	182	111	76SSS6--	313	244
25S1-29S	161	69	77SSS7--	192	134
26S1-30S	179	100	78SSS8--	192	133
27S1T11M	121	68	79SSS9S	306	237
28S1T11T	121	68	80SSS10S	306	237
29S1T12M	181	84	81SSS11S	185	127
30S1T12T	181	84	82SSS12S	186	125
31S1T13M	206	129	83SSS13S	308	241
32S1T13T	206	129	84SSS14S	308	241
33S1T14-	174	68	85SSS15S	187	131
34S1T15-	200	113	86SSS16S	188	129
35S1T16S	121	68			
36S1T17S	164	79			
37S1T18S	181	109			
38S1T19S	157	63			
39S1T20S	174	94			
40S1T21M	124	74			
41S1T21T	124	74			
42S1T22M	184	89			
43S1T22T	184	89			
44S1T23M	210	135			
45S1T23T	210	135			
46S1T24-	177	74			
47S1T25-	203	119			
48S1T26S	124	74			
49S1T27S	167	84			
50S1T28S	184	115			
51S1T29S	160	69			
52S1T30S	178	100			



IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	50 di 57

• Verifica a pressoflessione campata (Solinf-Camp)

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

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

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec	10	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.2$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 31.8$ cm

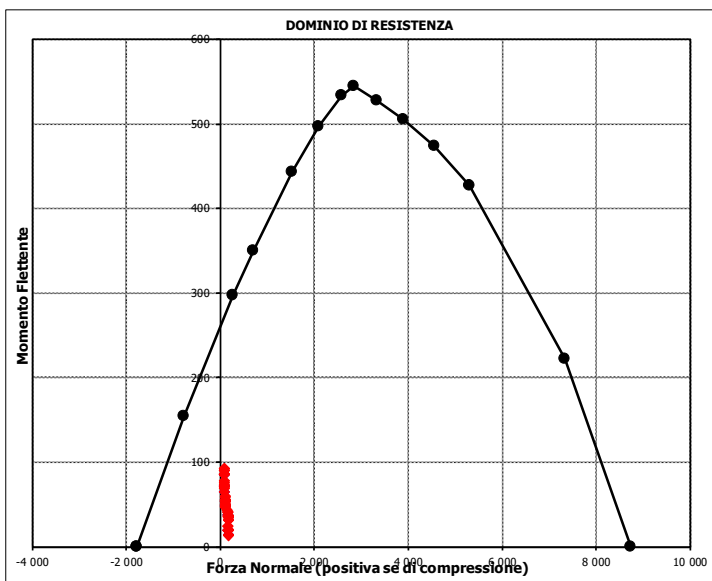
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
22.62 cm²			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	24	22.62	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
22.62 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_5St_20s	182	14
(Nmin)	Fr_5St_71s	-28	160
(Mmax)	Fr_5St_71s	-28	160
(Mmin)	Fr_5St_20s	182	14

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	108	54	53S3-11M	103	61
02S1-11T	108	54	54S3-11T	103	61
03S1-12M	172	37	55S3-12M	168	44
04S1-12T	172	37	56S3-12T	168	44
05S1-13M	80	92	57S3-13M	75	99
06S1-13T	80	92	58S3-13T	75	99
07S1-14-	179	19	59S3-14S	103	59
08S1-15-	86	74	60S3-15S	147	48
09S1-16S	108	52	61S3-16S	85	83
10S1-17S	152	41	62S3-21M	106	55
11S1-18S	90	76	63S3-21T	106	55
12S1-19S	158	25	64S3-22M	166	40
13S1-20S	97	60	65S3-22T	166	40
14S1-21M	111	48	66S3-23M	80	90
15S1-21T	111	48	67S3-23T	80	90
16S1-22M	176	32	68S3-24S	106	54
17S1-22T	176	32	69S3-25S	149	43
18S1-23M	83	87	70S3-26S	89	77
19S1-23T	83	87	71SSS1-	-28	160
20S1-24-	182	14	72SSS2-	-28	158
21S1-25-	89	69	73SSS3-	25	89
22S1-26S	111	47	74SSS4-	26	84
23S1-27S	155	36	75SSS5-	-26	156
24S1-28S	94	71	76SSS6-	-26	154
25S1-29S	161	19	77SSS7-	28	85
26S1-30S	100	54	78SSS8-	28	80
27S1T11M	105	56	79SSS9S	-27	158
28S1T11T	105	56	80SSS10S	-27	156
29S1T12M	165	40	81SSS11S	27	87
30S1T12T	165	40	82SSS12S	27	82
31S1T13M	79	91	83SSS13S	-24	153
32S1T13T	79	91	84SSS14S	-24	152
33S1T14-	174	20	85SSS15S	29	83
34S1T15-	88	71	86SSS16S	30	77
35S1T16S	105	54			
36S1T17S	148	44			
37S1T18S	88	78			
38S1T19S	157	25			
39S1T20S	97	59			
40S1T21M	108	50			
41S1T21T	108	50			
42S1T22M	168	35			
43S1T22T	168	35			
44S1T23M	83	85			
45S1T23T	83	85			
46S1T24-	177	15			
47S1T25-	92	65			
48S1T26S	108	49			
49S1T27S	151	38			
50S1T28S	91	73			
51S1T29S	160	19			
52S1T30S	100	54			



- 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 inf	
Tipo	C30/37	V_{Ed}	kN		280
R_{ck}	37 N/mm ²	N_{Ed}	kN		0
f_{ck}	30.7 N/mm ²	Armatura a taglio			
γ_c	1.5	Diametro	mm		12
α_{cc}	0.85	Numero barre			5
f_{cd}	17.4 N/mm ²	A_{sw}	cm ²		5.65
Acciaio		Passo s	cm		20
f_{tk}	540 N/mm ²	Angolo α	°		90
f_{yk}	450 N/mm ²	Armatura longitudinale			
γ_s	1.15	n_1			5
f_{yd}	391 N/mm ²	\varnothing_1	mm		24
		n_2			-
		\varnothing_2	mm		-
		Asl	cm ²		22.62
Sezione					
b_w	cm				100
H	cm				40
c	cm				8.2
d	cm				31.8
k	N/mm ²				1.79
v_{min}	N/mm ²				0.47
ρ					0.0071
σ_{cp}	N/mm ²				0.00
α_c					1.00
Resistenza senza armatura a taglio					
V_{Rd}	kN				191
Resistenza con armatura a taglio					
Inclinazione puntone θ	°				21.8
V_{RSd}	kN				792
V_{RCd}	kN				859
V_{Rd}	kN				792

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	52 di 57

- Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	107.84	kN m
Sforzo normale	N	160	kN

Materiali

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

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	22.62	cm ²	5 Ø 24	$C_{s1} = 8.2$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{t2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ²	5 Ø 24	$C_{t1} = 8.2$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.2	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	137.5	N/mm ²	< σ_{amm}

Eccentricità	e (M)	67.3	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	47.3	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	12.8	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4633	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	627819.3713	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	199613.6452	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	85	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	116	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	72.6	cm	
	u (M_{fess})	52.6	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	150.9	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	12.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	9.11	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.62	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	911.10	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0248	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000301756	-	
Copri ferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	24.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	334.3397247	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	196.6704263	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.10	mm	

IN54 - Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	53 di 57

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	86.50	kN m
Sforzo normale	N	37	kN

Materiali

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

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	22.62	cm ² 5 Ø 24 $C_{s1} = \mathbf{8.2}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ² 0 Ø 0 $C_{s2} = \mathbf{9.4}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ² 0 Ø 0 $C_{t2} = \mathbf{9.4}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ² 5 Ø 24 $C_{t1} = \mathbf{8.2}$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.9	N/mm ² < σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	130.5	N/mm ² < σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	230.9	cm > H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	210.9	cm
Posizione asse neutro	y (M)	11.5	cm
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4633	cm ²
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	627819.3713	cm ⁴
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	194236.5791	cm ⁴

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	76	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	108	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	288.0	cm	
	u (M_{fess})	268.0	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	164.9	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.4	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	9.53	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.62	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	952.74	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0237	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000339438	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	24.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	341.8513133	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	201.0890078	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	



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

IN54 – Nuovo tombino al km 28+986
Relazione di calcolo scatolare 3x3

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLIN5400001	B	54 di 57

10. INCIDENZA SCATOLARE

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

Piedritti	130 kg/mc
Soletta superiore	130 kg/mc
Soletta inferiore	130 kg/mc

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					
IN54 – Nuovo tombino al km 28+986 <i>Relazione di calcolo scatolare 3x3</i>	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLIN5400001	REV. B	FOGLIO 55 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.

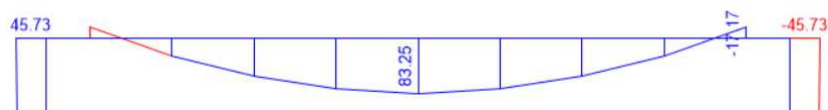
11.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

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 $G_2=89.26$ kN/m.

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



Calcolo analitico_trave appoggiata			
Carico uniformemente distribuito	G_2	89.26	kN/m
Luce di calcolo	L	3.4	m
Momento in campata	$M_{1/2}$	128.98	kNm/m
Calcolo analitico_trave incastrata			
Carico uniformemente distribuito	G_2	89.26	kN/m
Luce di calcolo	L	3.4	m
Momento in campata	$M_{1/2}$	42.99	kNm/m
SAP2000			
Momento in campata	$M_{1/2}$	83.25	kNm/m
Momento in campata_trave incastrata			
	Lim.Inf.	42.99	kNm/m
Momento in campata_SAP2000			
		83.25	kNm/m
Momento in campata_trave appoggiata			
	Lim.Sup.	128.98	kNm/m
Momento in campata_trave semi-incastrata			
	$M_{1/2}$	85.99	kNm/m
Errore	e	3.2%	

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.