

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47109000030009

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

FERMATE

Fermata PIEVE EMANUELE

Relazione di calcolo scale

SCALA:

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NM0Z	10	D	26	CL	FV020B	002	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRATA	Novembre 2018	F.Coppini/A.Maran 	Novembre 2018	S. Borelli 	Novembre 2018	F. Borelli Novembre 2018 	

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
Dott. Ing. Francesco Borelli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 23172 Sez. 18

File: NM0Z10D26CLFV020B002A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE GENERALE.....	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5	CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	7
6	CRITERI DI VERIFICA.....	8
	6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI	8
	6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	8
7	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	11
8	MODELLO DI CALCOLO	12
	8.1 PROGRAMMA DI CALCOLO	12
	8.2 MODELLAZIONE STRUTTURALE	12
	8.3 SCHEMA.....	13
9	ANALISI DEI CARICHI	14
	9.1 PESI PROPRI STRUTTURALI	14
	9.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI.....	14
	9.2.1 <i>sovraccarichi interni</i>	14
	9.2.2 <i>sovraccarichi esterni su terrapieno</i>	14
	9.3 SOVRACCARICHI VARIABILE DA TRAFFICO	16
	9.4 AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO	17
	9.5 AZIONI SISMICHE	18
10	COMBINAZIONI DI CARICO.....	22
11	VERIFICHE	25
	11.1 SLU – FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE	26
	11.2 SLU - TAGLIO.....	27
	11.3 SLE - FESSURAZIONE	28
	11.3.1 <i>(Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Frequente</i>	29
	11.3.2 <i>(Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Quasi Permanente</i>	30
	11.3.1 <i>(Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione RARA</i>	31

1 PREMESSA

Nell’ambito degli interventi di potenziamento della linea Milano – Genova, si prevede il quadruplicamento della linea ferroviaria nella tratta Milano Rogoredo-Pavia; in prima fase il quadruplicamento interesserà il tratto di linea compreso fra le stazioni di Milano Rogoredo e Pieve Emanuele, per essere esteso in fase successiva fino a Pavia.

Il quadruplicamento in oggetto, a partire dall’uscita della stazione Milano Rogoredo, prosegue in affiancamento alla linea storica e su una nuova sede e si sviluppa a sud di Milano, estendendosi per circa 30 km lungo l’attuale linea ferroviaria tra i nodi di Milano Rogoredo e Pavia.

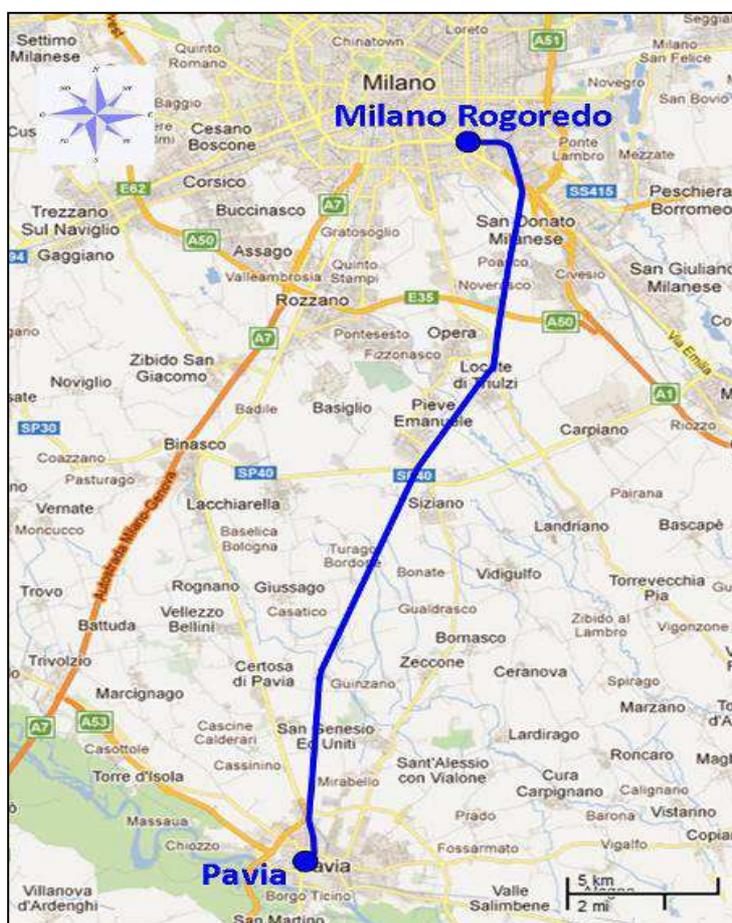


Figura 1 : Planimetria di progetto

2 DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione ha per oggetto il progetto/verifica delle strutture che realizzano le rampe scale per l'accesso al sottopasso della stazione di Pieve Emanuele. Le opere oggetto di studio per la loro conformazione sono riconducibili a strutture scatolari, quindi in questa fase di studio trascurando lo sviluppo longitudinale dell'opera si riporta la verifica della sezione trasversale tipo di larghezza unitaria. la sezione rappresentativa di verifica è quella in corrispondenza del pianerottolo iniziale in cui si massimizza l'altezza degli sbalzi esterni a sostegno del terreno.

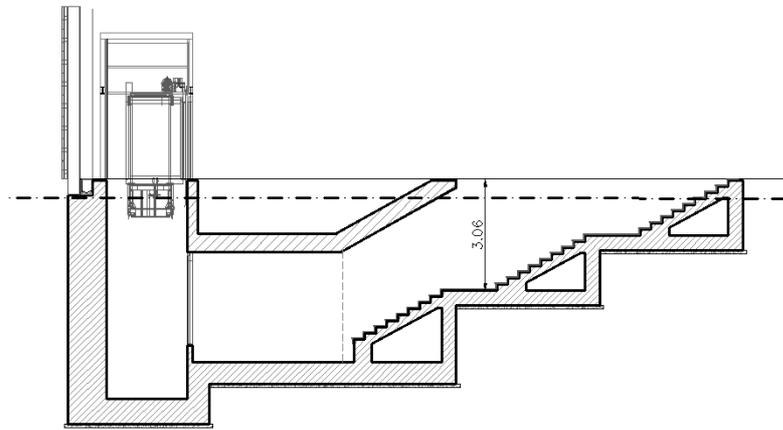


Figura 2 : Sezione trasversale

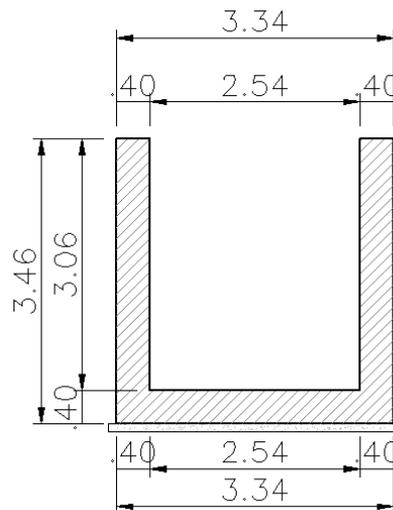


Figura 3: Sezione in asse pianerottolo

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CALCESTRUZZO

Classe di resistenza calcestruzzo

C32/40

Caratteristiche del calcestruzzo

resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40 [MPa]
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	33.2 [MPa]
resistenza cilindrica media	f_{cm}	41.2 [MPa]
resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	3.1 [MPa]
resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	f_{ctk}	2.2 [MPa]
modulo elastico istantaneo	E_{cm}	33,643 [MPa]

Resistenze di calcolo

resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.8 [MPa]
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.4 [MPa]
coefficiente di espansione termica lineare	α	1.00E-05 [°C ⁻¹]

COEFFICIENTI

γ_c	=	1.5
α_{cc}	=	0.85

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Tipo di acciaio

B450C

Caratteristiche del calcestruzzo

tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 [MPa]
tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540 [MPa]

Resistenze di calcolo

resistenza di progetto	f_{yd}	391.3 [MPa]
modulo elastico	E_s	200000 [MPa]

COEFFICIENTI

γ_s	=	1.15
------------	---	------

Per il calcestruzzo armato si assume

γ_{cls} 25 kN/m³

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE												
Fermata PIEVE EMANUELE RELAZIONE DI CALCOLO SCALE	<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>NM0Z</td> <td>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV020B002</td> <td>A</td> <td>6 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	6 di 31
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	6 di 31								

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617: Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- 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;

– Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;

– Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “energia” del sistema ferroviario dell’Unione europea;

– Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea;

– Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi “controllo-comando e segnalamento” del sistema ferroviario nell’Unione europea.



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA
FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

Fermata PIEVE EMANUELE
RELAZIONE DI CALCOLO SCALE

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	7 di 31

5 CONDIZIONI GEOTECNICHE

ZONA	SONDAGGI DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	ϕ' [°]		ϕ' [°]	
						max	min	laboratorio	scelto
6	PNMP21P03	da 0 a 40m	S	19	15	30	21	30	29
	e								
	DHNMOZP03								

E'_{op} [MPa]		V_s [m/s]		categoria terreno	G_0 [MPa]	
max	min	max	min		max	min
54	3	363	140	C	257	39

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	Fermata PIEVE EMANUELE RELAZIONE DI CALCOLO SCALE	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV020B002	REV. A

6 CRITERI DI VERIFICA

6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti M_d sia minore dei corrispondenti momenti resistenti M_r delle sezioni di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato nel D.M. 14 gennaio 2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 "Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti" del D.M. 14 gennaio 2008.

6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

- stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Condizioni ambientali

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	Fermata PIEVE EMANUELE RELAZIONE DI CALCOLO SCALE	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV020B002	REV. A

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

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

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni aggressive.

Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

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

Come da manuale RFI DTC SI PS MA IFS 001 B (2.5.1.8.3.2.4) si assume in questo caso per la verifica a fessurazione la combinazione Rara e come limite massimo di apertura delle fessure $w_1=0.2$ mm, (per strutture a permanente contatto con il terreno).

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
Fermata PIEVE EMANUELE RELAZIONE DI CALCOLO SCALE	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV020B002	REV. A	FOGLIO 10 di 31

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w_1 , w_2 , w_3 secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è data da:

$$w_d = 1,70 \cdot w_m$$

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w_m è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{sm} può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con σ_s tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed E_s è il modulo elastico dell'acciaio.

7 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Parete verticale	S_{PI}	0.4 m
Spessore Soletta Inferiore	S_{SI}	0.4 m
Larghezza totale	L	3.34 m
Altezza totale	H	3.60 m
Larghezza interna	L_i	3.20 m
Altezza Interna	H_i	3.20 m
Larghezza ali	L_e	0 m
Altezza Terreno	H_t	3.60 m
Inclinazione terreno	H_p	0 m



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO –
PAVIA
FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE
EMANUELE

Fermata PIEVE EMANUELE
RELAZIONE DI CALCOLO SCALE

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	12 di 31

8 MODELLO DI CALCOLO

8.1 PROGRAMMA DI CALCOLO

L'analisi è stata effettuata per elementi finiti attraverso l'ausilio del programma di calcolo "SAP2000".

8.2 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Il modello di calcolo attraverso il quale è stata analizzata la struttura e schematizzato da un rettangolo costituito da elementi monodimensionali vincolati su un letto di molle alla winkler.

Per i coefficienti del sottosuolo sono stati adottati i seguenti valori

- Coefficiente verticale $k_v = 8953 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente orizzontale $k_h = 4477 \text{ kN/m}^3$

Sono stati utilizzati molle per unità di lunghezza attribuita agli elementi della soletta inferiore.

8.3SCHEMA

Il modello è formato da 12 elementi monodimensionale a cui è assegnata la sezione specifica dell'elemento corrispondente

- Gli elementi 1,4,6,7 sono vincolati con delle molle con rigidezza k_v e k_h ;

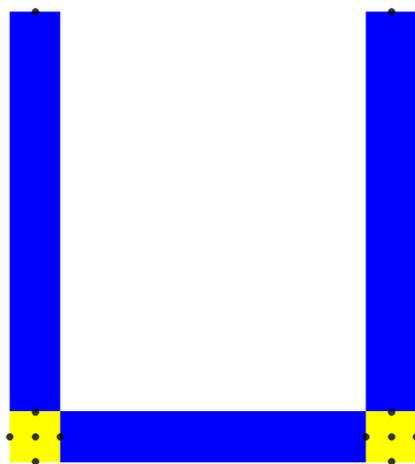
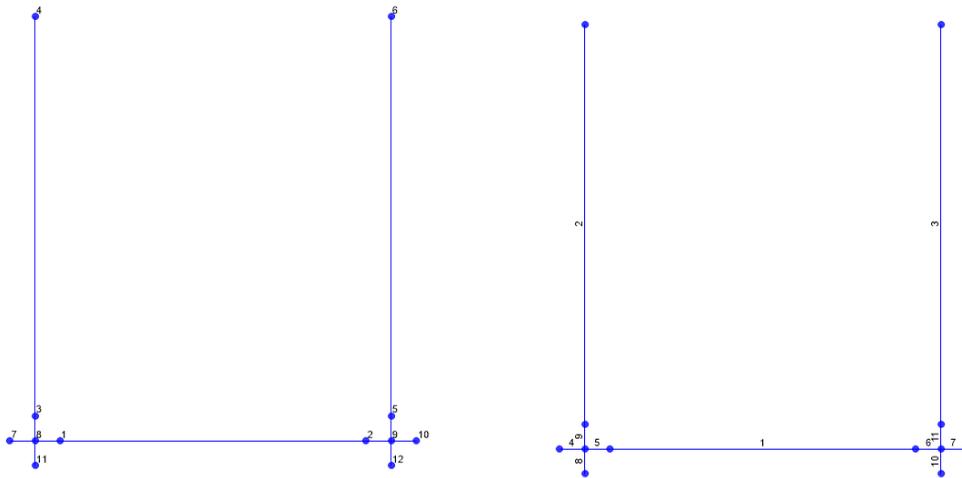


Figure 1 : Schema modello di calcolo



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA
FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

Fermata PIEVE EMANUELE
RELAZIONE DI CALCOLO SCALE

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	14 di 31

9 ANALISI DEI CARICHI

9.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

		D [m ²]		γ [kN/m ³]		[m]		[kN/m]
Solette	PP _{SI}	0.40	X	25	X	1	=	10.0
Piedritto	PP _{PI}	0.40	X	25	X	1	=	10.0

9.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI

9.2.1 SOVRACCARICHI INTERNI

Di seguito sono stati riassunti i valori dei carichi permanenti portati che competono alle rampe scala e alla soletta inferiore:

	γ [kN/m ³]	D [m ²]	[kN/m]
Gradini in pietra locale	26.66	0.04	1.07
Malta di allettamento	18	0.01	0.18
			1.25 [kN/m/m]

9.2.2 SOVRACCARICHI ESTERNI SU TERRAPIENO

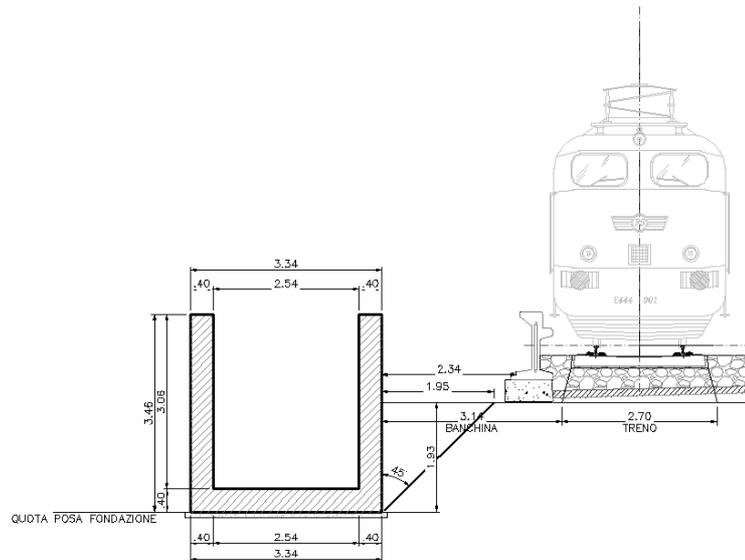
Carichi permanenti portati zona banchina

	γ [kN/m ³]	D [m ²]	[kN/m]
Pavimento: masselli in c.l.s. autobloccanti sp.=6 cm	20	0.06	1.2
sottofondo in sabbia sp.=5cm	17	0.05	0.85
Massetto in c.l.s.+ r.e.s. sp.=20 cm	25	0.2	5
Impermeabilizzazione (strato anticapillare) sp=50 cm	0.3	0.5	0.15
Spessore terreno	19	0.7	13.3
Permanenti totali (striscia di 1m)		1.51	20.5 [kN/m/m]

Carichi permanenti zona ballast

	γ [kN/m ³]	D [m ²]	[kN/m]
Pavimento: masselli in c.l.s. autobloccanti sp.=6 cm	18	0.9	16.2
Permanenti totali (striscia di 1m)		0.9	16.2 [kN/m/m]

Poiché tali sovraccarichi interessano tratti di larghezze diverse, all'interno del cuneo di spinta, per ricavare il valore del sovraccarico è stata fatta una media pesata sulle larghezze interessate dai due tipi di carico.



Larghezza di incidenza sovraccarichi	1.93	[m]
Larghezza di incidenza zona banchina	2.34	[m]
Larghezza di incidenza zona ballast	0	[m]
Permanenti totali (striscia di 1m)	20.50	[kN/m/m]

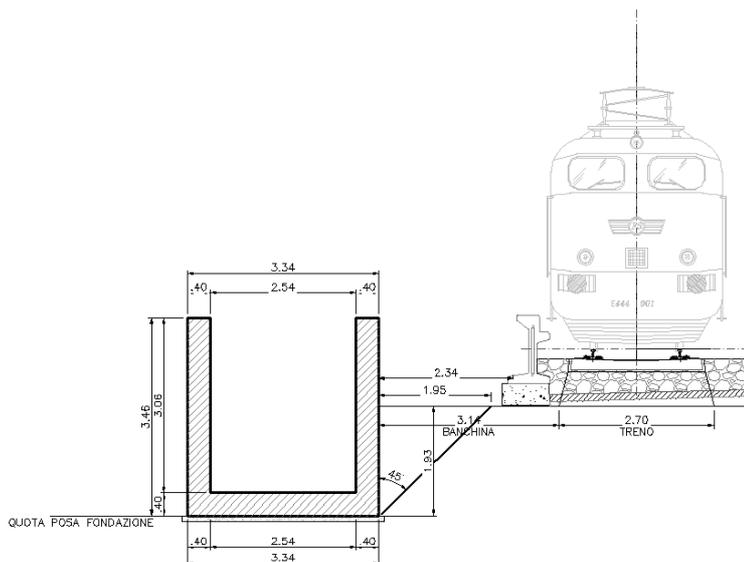
9.3 SOVRACCARICHI VARIABILE DA TRAFFICO

I modello di carico mobile considerato per la struttura è il solo treno di carico LM71 in quanto più gravoso del SW/2. Per il modello LM71 è stato considerato il carico distribuito equivalente ai 4 assi da 250 kN ciascuno con interasse di 1,60 m pari a:

$$q_{eq, locomotore, LM71} = (250 \times 4 / 6.4) \times \alpha = 171.875 \text{ kN/m} \quad (\alpha \text{ è il coefficiente di adattamento})$$

Per il carico variabile relativo alla banchina è stata adottata la categoria C3 (stazioni ferroviarie) pari a 5 KN/mq.

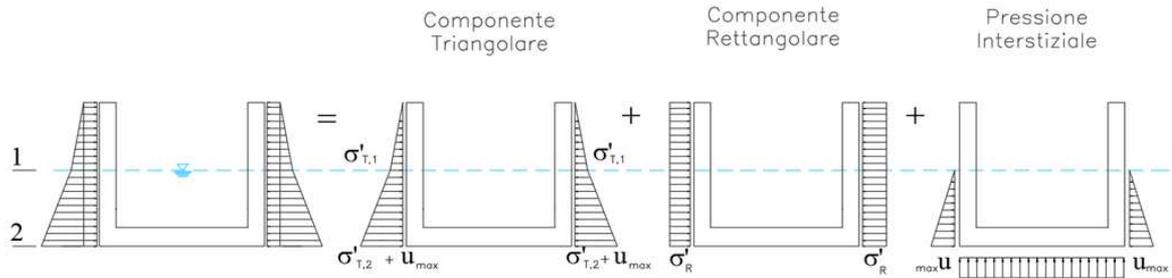
Anche in questo caso per ricondurre il valore del sovraccarico ad un unico valore è stata fatta la media pesata dei due carichi variabili sulle larghezze pertinenti (vedi figura seguente) di seguito si riporta il calcolo del carico variabile da traffico applicato al modello.



Larghezza di incidenza sovraccarichi	1.93	[m]
Larghezza di incidenza zona banchina	2.33	[m]
Larghezza di incidenza zona ballast	0	[m]
Variabili (striscia di 1m)	5.0	[kN/m/m]

Per i restanti carichi variabili applicati sulle solette che realizzano le rampe scala e la banchina esterna si è fatto riferimento alle NTC 2008 (tabella 3.1.II). In particolare è stata scelta una categoria C3 (“stazioni ferroviarie”) per la quale il carico variabile da assumere in fase di progetto è di 5 kN/m².

9.4 AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO



Pressine interstiziale

$$u_{\max} = 26.6 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tensioni litostatiche verticali : componente Triangolare

Tensione litostatica verticale efficace in "1" $\sigma'_{T,1} = \gamma_{t2} \times (H_t - H_w) = 68.4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Tensione litostatica verticale efficace in "2" $\sigma'_{T,2} = \sigma'_{T,1} + \gamma'_{t2} \times H_w = 68.4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Tensioni litostatiche verticali : componente Rettangolare

Tensione litostatica verticale efficace estradosso Soletta $\sigma'_R = 0.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Coefficienti di spinta Terreno 1

		M1	M2	SLE
Deformazione orizzontale nulla	$k_0 = 1 - \text{sen}\phi'$	0.52	0.60	0.52
Equilibrio limite attivo	$k_a = (1 - \text{sen}\phi') / (1 + \text{sen}\phi')$	0.35	0.42	0.35

Tensioni totali orizzontali

	Ka
$\sigma(k_0) = k_0 \cdot \sigma'_R + k_0 \cdot \sigma'_T + u$	0
$\sigma(k_a) = k_a \cdot \sigma'_R + k_a \cdot \sigma'_T + u$	1

9.5 AZIONI SISMICHE

CARATTERISTICHE SISMICHE

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

vita nominale	V_N	75	anni
Classe d'uso		III	
coefficiente d'uso	C_U	1.5	
periodo di riferimento per l'azione sismica	V_R	112.5	anni
Stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV			
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	P_{VR}	10%	
Periodo di ritorno dell'azione sismica	T_R	1067.8	anni

PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA

accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0.677	[m/s ²]
accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0.069	[g]
coefficiente di amplificazione spettrale massima	F_0	2.633	
periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_C^*	0.301	[s]

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE

Categoria di sottosuolo		C	
coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1.50	
coefficiente di sottosuolo	C_C	1.56	
Categoria topografica		T1	
coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1	
$S_S \times S_T$	S	1.50	
coefficiente di smorzamento viscoso	x	5%	
$\sqrt{10/(5+x)}$	h	1	

PARAMETRI DI ANALISI

accelerazione orizzontale massima al sito	a_{max}	1.015	[m/s ²]
fattore di struttura	q	1	
coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_m	1	
coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.104	
coefficiente sismico verticale	k_v	0.052	



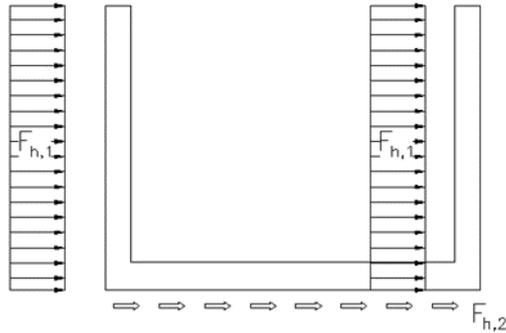
PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO –
PAVIA
FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE
EMANUELE

Fermata PIEVE EMANUELE
RELAZIONE DI CALCOLO SCALE

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	19 di 31

Livello di falda al di sotto del muro		1
Peso specifico "sismico" del terreno	γ^*	19
coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.10
coefficiente sismico verticale	k_v	0.05
	$\theta +$	5.6
	$\theta -$	6.2
	φ'_{M2}	23.90
	δ	0.0
	δ_{M2}	0.0
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della parete del muro rivolta a monte	ψ	90
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della superficie del terrapieno	β	0
coefficiente di spinta sismica M2	K_e	0.50

FORZE SISMICHE



Forze di inerzia orizzontali

$$F_h = k_h \times W$$

Forze di inerzia verticali

$$F_v = k_v \times W$$

Sisma H

Forza di inerzia orizzontale piedritti

$$F_{h1} = (PP_{PI}) \cdot k_h = 1.04 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia orizzontale inferiore

$$F_{h2} = (PP_{SI}) \cdot k_h = 1.04 \text{ [kN/m]}$$

Sisma V

Forza di inerzia verticale piedritti

$$F_{v1} = (PP_{PI}) \cdot k_v = 0.52 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia verticale Soletta inferiore

$$F_{v2} = (PP_{SI}) \cdot k_v = 0.52 \text{ [kN/m]}$$

Incremento sismico secondo il metodo di Mononobe-Okabe

(secondo Eurocodice 8-5)

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma^* \cdot H^2 \cdot (1 \pm k_v) \cdot K + E_{ws} + E_{wd}$$

E_{ws} = spinta statica acqua ; K = coefficiente di Mononobe-Okabe

E_{wd} = spinta dinamica acqua (Westergaard)

Alta permeabilità ($k > 5 \times 10^{-4}$ m/s)

$$E_{wd} = 7/12 k_h \gamma_w H^2$$

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

γ_s = peso specifico dei grani

Bassa permeabilità ($k < 5 \times 10^{-4}$ m/s)

$$E_{wd} = 0$$

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

γ = peso di volume terreno naturale

Spinta statica dell'acqua	E_{ws}	0 [kN/m]
Spinta idrodinamica dell'acqua	E_{wd}	0 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$S_{H,sism}$	65 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$E_d = E_{ws} + E_{wd} + S_{H,sism}$	65 [kN/m]



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO –
PAVIA
FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE
EMANUELE

Fermata PIEVE EMANUELE
RELAZIONE DI CALCOLO SCALE

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV020B002	A	22 di 31

10 COMBINAZIONI DI CARICO

COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

Carichi	Effetto	Coeff.	EQU/UPL	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	Sism
Carichi Permanenti	favorevole	γ_{G1}	0.9	1	1	1	1
	sfavorevole		1.1	1.35	1	1	1
Carichi Permanenti non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0	0	0	1	1
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3	1	1
Variabili da traffico	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.45	1.45	1.25	1	0.2
Variabili	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3	1	0
Ritiro e viscosità, variazioni termiche	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.2	1.2	1	1	1

Parametro		Coeff.	M1	M2	SLE	SLE
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	γ_j	1	1.25	1	1
coesione	c'_k	γ_c	1	1.25	1	1
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1	1.4	1	1
peso unità di volume	γ	γ_g	1	1	1	1

Coefficienti parziali per azione ψ			
CARICHI	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Carichi variabili su testa muro	0.60	0.60	0.00
Carichi variabili su terrapieno	0.60	0.60	0.00
Carichi variabili su testa muro in fase sismica	0.00	0.00	0.50
Carichi variabili su terrapieno in fase sismica	0.00	0.00	0.50
Carichi variabili da traffico	0.80	0.80	0.00

Combinazione massima spinta terreno

Spinta terreno M1 = Spinta terreno SLE

<i>Spinta Terreno</i>	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.61	0.61	0.61	0.61	1	1

Spinta terreno M2

<i>Spinta Terreno</i>	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.68	0.68	0.68	0.68	1	1

I numeri in tabella rappresentano il prodotto tra i coefficienti di spinta e i coefficienti parziali sulle azioni

Carichi combinati

- G_1 =
Peso proprio muro
Forza orizzontale permanente su testa muro
Forza verticale permanente su testa muro
Coppia permanente su testa muro
- G_2 =
Spinta terreno
Spinta Acqua statica
Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno
- $G_{2,sism}$ =
Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno
- Q_1 =
Azioni variabili da traffico
- Q_2 =
Forza orizzontale variabile su testa muro
Forza verticale variabile su testa muro
Coppia variabile su testa muro
- E_x =
Forza di inerzia orizzontale piedritti
Incremento sismico secondo il metodo di Mononobe-Okabe
- E_z =
Forza di inerzia verticale piedritti

Combinazione di verifica

<i>SLU A1-M1</i>	G₁	G₂	Q₁	Q₂
SLU 1	1.35	1.50	0	0
SLU 2	1.35	1.35	1.45	0.90
SLU 3	1.35	1.35	1.16	1.50

<i>SLU A2-M2</i>	G₁	G₂	Q₁	Q₂
SLU 4	1.00	1.30	0	0
SLU 5	1.00	1.30	1.25	0.90
SLU 6	1.00	1.30	1.00	1.30

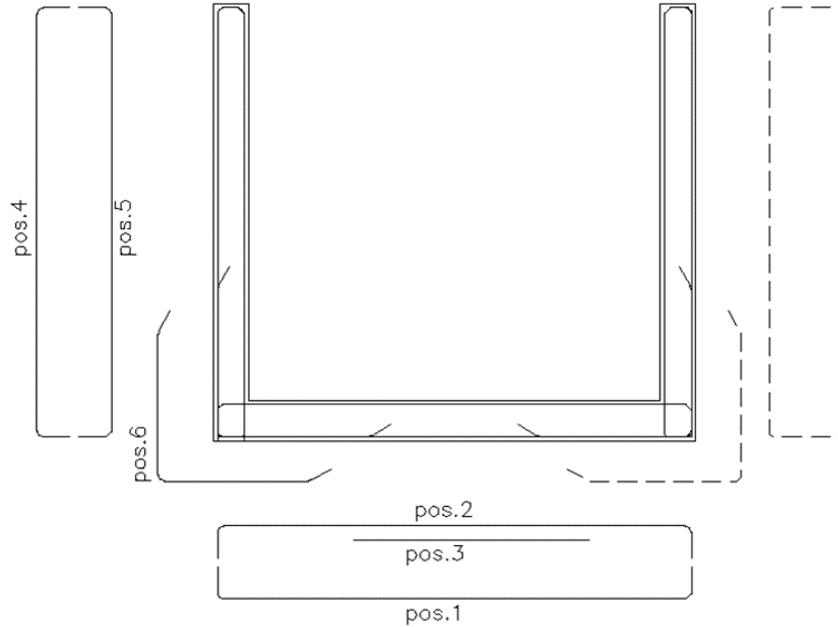
<i>SISMICA/M2</i>	G₁	G_{2,sism}	Q₁	Q₂	E_x	E_z
SLU 7	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	1.00
SLU 8	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	-1.00
SLU 9	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	1.00
SLU 10	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	-1.00
SLU 11	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	1.00
SLU 12	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	-1.00

<i>SLR FREQ</i>	G₁	G₂	Q₁	Q₂
SLE 3	1.00	1.00	0.80	0.00
SLE 4	1.00	1.00	0.00	0.60

<i>SLR QP</i>	G₁	G₂	Q₁	Q₂
SLE 1	1.00	1.00	0.00	0.00
SLE 2	1.00	1.00	0.00	0.00

<i>SLR RARA</i>	G₁	G₂	Q₁	Q₂
SLE 5	1.00	1.00	0.80	0.00
SLE 6	1.00	1.00	0.00	0.60

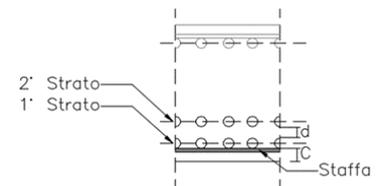
11 VERIFICHE



	Copriferro C[mm]	Correnti ϕ [mm]	Distanziatori d[mm]
Piedritti	50	12	20
Soletta Inferiore	50	12	20

Armatura

	pos	Strato 1		+	Strato 2		in 2°strato
		n°/ml	ϕ [mm]		n°/ml	ϕ [mm]	
Piedritti	1	5	20		0	0	NO
	2	5	20		0	0	NO
	3	5	24		0	0	NO
Soletta inferiore	4	5	20		0	0	NO
	5	5	20		0	0	NO
	6	5	20		0	0	NO



11.1 SLU – FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

b_w	Larghezza sezione
h_{sez}	Altezza sezione
$A'_{s,tesa}$	Area armatura tesa
d	Altezza utile sezione
$A'_{s,comp}$	Area armatura compressa
N_{ed}	Sforzo normale
M_{ed}	Momento flettente
M_{rd}	Momento Resistente

	b_w	h_{sez}	$A'_{s,tesa}$	d	$A'_{s,comp}$	N_{ed}	M_{ed}	M_{rd}	M_{ed}/M_{rd}	
	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	
S1 (Mmax)	1000	400	3141.6	328.0	1570.8	-43.2	213.6	355.8	0.60	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	1000	400	3141.6	328.0	1570.8	-43.2	191.0	355.8	0.54	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	1000	400	3141.6	328.0	1570.8	-43.2	238.2	344.8	0.69	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	1000	400	3832.7	326.8	1570.8	-196.0	212.0	392.2	0.54	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a flessione è 0.69

11.2 SLU - TAGLIO

ρ_l	Rapporto geometrico di armatura longitudinale
k	$1+(200/d)^{1/2} \leq 2$
v_{min}	$0.035k^{3/2}f_{ck}$
σ_{cp}	Tensione media di compressione nella sezione
f_{ck}	Resistenza caratteristica cilindrica
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione
f'_{cd}	Resistenza a compressione del cls ridotta
f_{yd}	Resistenza di progetto acciaio
$n^\circ\phi$	Numero armature trasversali
ϕ_d	Diametro armature trasversali
s	Interasse armature trasversali
A_{sw}	Area dell'armatura trasversale
α	Angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave
α_c	Coefficiente maggiorativo in elementi compressi
θ	Angolo di inclinazione puntone compresso rispetto asse trave
v_1	Coefficiente di riduzione resistenza a compressione cls
V_{Rsd}	Resistenza a taglio trazione
V_{Rcd}	Resistenza a taglio compressione
V_{ed}	Sforzo di taglio
V_{rd}	Resistenza a taglio

Senza elementi trasversali resistenti a taglio

	ρ_l	k	v_{min} [MPa]	σ_{cp} [MPa]	f_{ck} [MPa]	f_{cd} [MPa]	V_{ed} [kN]	V_{rd} [kN]	V_{ed}/V_{rd} [-]	
S1 (Tmax)	0.0	1.8	0.5	-0.1	33.2	18.8	163.2	216.8	0.75	Verifica Soddisfatta
S2 (Tmax)	0.0	1.8	0.4	-0.1	24.9	14.1	37.0	196.5	0.19	Verifica Soddisfatta
S3 (Tmax)	0.0	1.8	0.4	-0.5	24.9	14.1	2.3	191.2	0.01	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a taglio è 0.75

11.3 SLE - FESSURAZIONE

c	Ricoprimento armatura
s	Interasse barre tese
ϕ_{eq}	Diametro equivalente barre tese
k_1	Coefficiente di aderenza del cls alla barra
k_2	Coefficiente di forma del diagramma delle tensioni
k_3	3.4
k_4	0.425
A_s	Area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$
$h_{c,eff}$	Altezza efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura
$A_{c,eff}$	Area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura
ρ_{eff}	$A_s/A_{c,eff}$
$\Delta_{s,max}$	distanza media tra le fessure
σ_s	Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata
α_e	rapporto E_s/E_{cm}
k_t	Fattore dipendente dalla durata del carico
ϵ_{eq}	Deformazione unitaria media delle barre d'armatura
N	Sforzo normale
M	Momento flettente
w_d	Valore di calcolo dell'apertura delle fessure
w_{max}	Valore limite di apertura delle fessure

Criteri

Condizioni Ambientali	Aggressive
Armatura	Poco Sensibile

Stato limite di verifica

Combinazione frequente :	<i>Stato limite di apertura delle fessure</i>	w2	0.3	[mm]
Combinazione quasi permanente :	<i>Stato limite di apertura delle fessure</i>	w1	0.2	[mm]
Combinazione rara :	<i>Stato limite di apertura delle fessure</i>	w1	0.2	[mm]

11.3.1 (STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE) - COMBINAZIONE FREQUENTE

	c	s	ϕ_{eq}	k_1	k_2	k_3	k_4	A_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	ρ_{eff}	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.8	90804	0.03	268
S1 (Nmin)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.8	90804	0.03	268
S2 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.8	90812	0.03	268
S3 (Mmax)	50	100	22.182	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	87.6	87629	0.04	256

	$0.6 s_s / E_s$	σ_s	α_e	k_t	ϵ_{eq}
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.00046	153.1	5.94	0.4	0.0005
S1 (Nmin)	0.00046	153.1	5.94	0.4	0.0005
S2 (Mmax)	0.00053	175.7	6.36	0.4	0.0007
S3 (Mmax)	0.00038	128.1	6.36	0.4	0.0005

Combinazione: Frequente

	N_{ed}	M_{ed}	w_d	w_{max}	w_d/w_{max}	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[-]	
S1 (Mmax)	32.0	139.8	0.15	0.3	0.49	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	32.0	139.8	0.15	0.3	0.49	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	155.3	0.18	0.3	0.59	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	136.2	0.12	0.3	0.39	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.59

11.3.2 (STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE) - COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

	c	s	ϕ_{eq}	k_1	k_2	k_3	k_4	A_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	ρ_{eff}	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.804	90804	0.03	268.3
S1 (Nmin)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.804	90804	0.03	268.3
S2 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.812	90812	0.03	268.3
S3 (Mmax)	50	100	22.182	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	87.629	87629	0.04	256.2

	$0.6 s_s / E_s$	σ_s	α_e	k_t	ϵ_{eq}
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.0004	139.0	5.94	0.4	0.0005
S1 (Nmin)	0.0004	139.0	5.94	0.4	0.0005
S2 (Mmax)	0.0005	159.8	6.36	0.4	0.0006
S3 (Mmax)	0.0003	115.1	6.36	0.4	0.0004

Combinazione: Quasi permanente

	N_{ed}	M_{ed}	w_d	w_{max}	w_d/w_{max}	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[kN]	
S1 (Mmax)	32.0	127.3	0.13	0.2	0.64	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	32.0	127.3	0.13	0.2	0.64	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	141.3	0.16	0.2	0.78	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	122.4	0.10	0.2	0.51	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.78

11.3.1 (STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE) - COMBINAZIONE RARA

	c	s	ϕ_{eq}	k_1	k_2	k_3	k_4	A_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	ρ_{eff}	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.804	90804	0.03	268.3
S1 (Nmin)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.804	90804	0.03	268.3
S2 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3141.6	90.812	90812	0.03	268.3
S3 (Mmax)	50	100	22.182	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	87.629	87629	0.04	256.2

	$0.6 s_s / E_s$	σ_s	α_e	k_t	ϵ_{eq}
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.0005	156.7	5.94	0.4	0.0006
S1 (Nmin)	0.0005	156.7	5.94	0.4	0.0006
S2 (Mmax)	0.0005	179.7	6.36	0.4	0.0007
S3 (Mmax)	0.0004	131.4	6.36	0.4	0.0005

Combinazione: Rara

	N_{ed}	M_{ed}	w_d	w_{max}	w_d/W_{max}	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[kN]	
S1 (Mmax)	32.0	142.9	0.15	0.2	0.76	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	32.0	142.9	0.15	0.2	0.76	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	158.8	0.18	0.2	0.91	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	139.7	0.12	0.2	0.61	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.91