

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA

OPERE CIVILI

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro

Relazione di calcolo scatolare ferroviario

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L I N 2 5 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave 	Febbraio 2022	M. Severi 	Febbraio 2022	G. Fadda 	Febbraio 2022	A. Perego Febbraio 2022

File: IV0I00D26CLIN2500001A.docx

n. Elab.

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	10
4.1	CALCESTRUZZO	10
	4.1.1 Magrone di fondazione C12/15	10
	4.1.2 Struttura in c.a. C32/40.....	10
4.2	ACCIAIO PER C.A. TIPO B450C	10
5	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	11
6	CODICE DI CALCOLO	13
7	MODELLO DI CALCOLO	14
7.1	MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA.....	16
8	ANALISI DEI CARICHI	17
8.1	PESO PROPRIO	17
8.2	SPINTE DEL TERRENO E DELL'ACQUA	17
8.3	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI	20
	8.3.1 Ricoprimento, ballast e armamento.....	20
8.4	CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO FERROVIARIO.....	20
	8.4.1 Effetti dinamici	21
	8.4.2 Carichi ferroviari	22
	8.4.3 Frenatura e avviamento.....	26
8.5	AZIONI TERMICHE	26
8.6	RITIRO.....	26

8.7	AZIONI SISMICHE.....	27
8.7.1	Pericolosità sismica	28
8.7.2	Sovrappinta sismica del terreno	31
8.7.3	Forze inerziali dovute ai carichi permanenti sulla soletta superiore.....	32
9	COMBINAZIONI DI CARICO	35
10	CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI.....	42
10.1	VERIFICHE ALLO SLU	43
10.1.1	Pressoflessione	43
10.1.2	Taglio.....	44
10.2	VERIFICHE AGLI SLE.....	45
10.2.1	Verifiche alle tensioni.....	45
10.2.2	Verifiche a fessurazione	45
11	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DELLO SCATOLARE	47
11.1	INVILUPPO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	47
11.2	Riassunto delle sollecitazioni di progetto	52
11.3	ARMATURE DI PROGETTO.....	53
11.4	VERIFICHE.....	54
11.4.1	Verifiche a pressoflessione e taglio	54
11.4.2	Verifiche di deformabilità	81
11.4.3	Verifiche geotecniche: verifica a carico limite.....	82
11.4.4	Verifiche di equilibrio (EQU): verifica a galleggiamento	87
12	RIEPILOGO ARMATURE E CALCOLO DELLE INCIDENZE	88

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale dell'opera scatolare utilizzabile per attraversamenti ferroviari denominata IN25 – Rio Castellaro. L'opera realizzata nell'ambito dell'adeguamento della viabilità interferente con il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia nella tratta Finale Ligure - Andora.

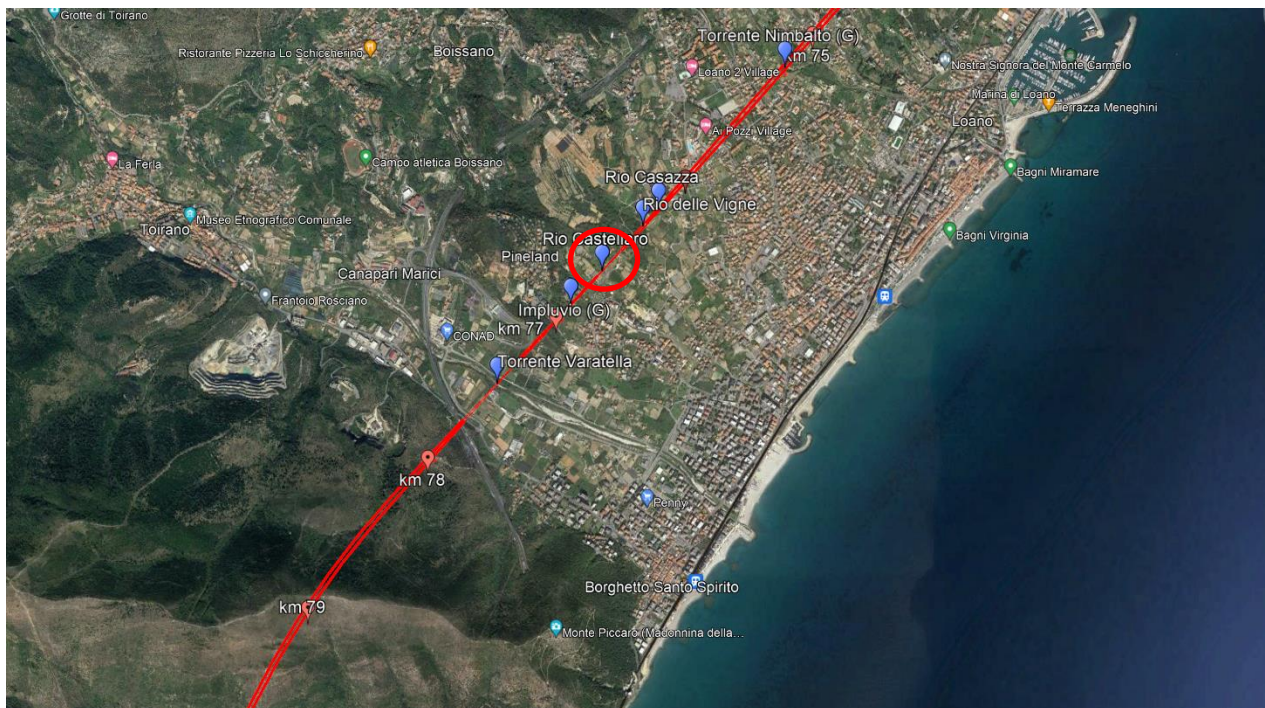


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'intervento di sistemazione idraulica prevede la realizzazione di uno scatolare di sottoattraversamento della sede ferroviaria avente la seguente geometria:

$S_{SUP}= 1.00m$	spessore del solettone di copertura
$S_{INF}= 1.00m$	spessore del solettone di fondazione
$S_1=S_2= 1.00m$	spessore dei piedritti
$L_e= 10.00 m$	larghezza totale scatolare
$L_i= 8.00m$	larghezza netta scatolare
$H_e= 6.50m$	altezza totale scatolare
$H_i= 4.50m$	altezza netta scatolare



Figura 2 – Vista in pianta del tombino

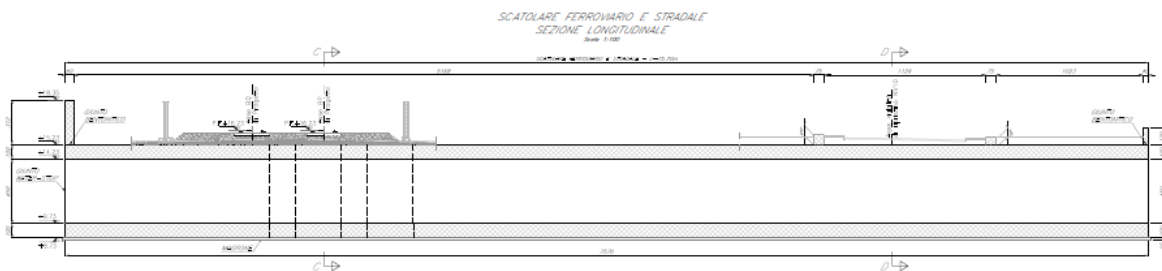


Figura 3 – Profilo longitudinale in asse al tombino

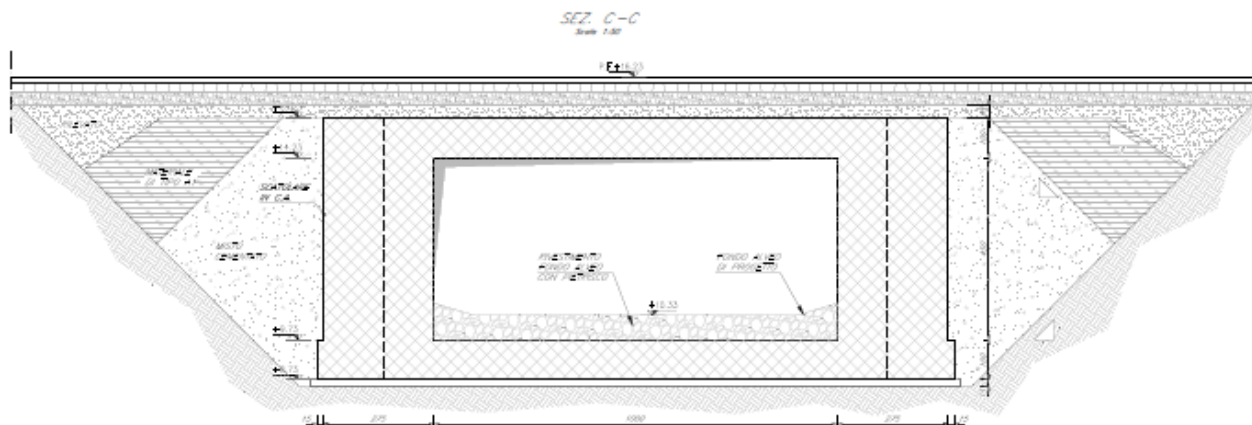


Figura 4 – Sezione trasversale del tombino (in asse binario)

3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. del 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (NTC 2018);
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17.01.2018;
- UNI EN 206:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI EN 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione. prestazione. produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;
- EN 1991-2:2003/AC:2010 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”.
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali”.
- UNI EN 1998-1:2013 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 2 – “Ponti e strutture” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 E.
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 3 – “Corpo stradale” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 E.
- RFI DTC SI SP IFS 001 E – “Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili”.

- UIC CODE 777-2R “Structures built over railway lines-Construction requirements in the track zone”
- Norme 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; Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell'Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019
- 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, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019
- Regolamento (UE) N. 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 modificata con la Rettifica del 15 giugno 2016 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/772 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica il regolamento (UE) n. 1300/2014 per quanto riguarda l'inventario delle attività al fine di individuare le barriere all'accessibilità, fornire informazioni agli utenti e monitorare e valutare i progressi compiuti in materia di accessibilità.

- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/776 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabiliti nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 CALCESTRUZZO

4.1.1 Magrone di fondazione C12/15

Peso Specifico	$\gamma =$	25 kN/m ³
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	15 MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	12 MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	20 MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	27085 MPa

4.1.2 Struttura in c.a. C32/40

Peso Specifico	$\gamma =$	25 kN/m ³
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	40 MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	32 MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	40 MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	35220 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU	$\gamma_C =$	1.5
Resistenza Cilindrica media a trazione	$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	3.51 MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} =$	2.46 MPa
Resistenza di Calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.64 MPa
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1,2 \cdot f_{ctm} =$	4.21 MPa
Resistenza Cilindrica caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} =$	2.95 MPa
Classe di esposizione:	XC4	

4.2 ACCIAIO PER C.A. TIPO B450C

Peso Specifico	$\gamma =$	78.5 kN/m ³
Modulo Elastico	$E =$	206000 MPa
Resistenza caratteristica allo snervamento	$f_{yk} =$	450 MPa
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} =$	540 MPa
Coefficiente di sicurezza allo SLU	$\gamma_S =$	1,15
Resistenza di calcolo allo SLU	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391,3 MPa

5 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

In accordo con le analisi geognostiche effettuate nell'area oggetto di intervento, di seguito si riportano i parametri geotecnici di progetto utilizzati per i terreni interessati:

Unità	Descrizione	Prof. m pc	γ kN/mc	ϕ' °	c' kPa	c_u kPa	E MPa
-	-	-	-	-	-	-	-
2	Sabbia limosa ghiaiosa con rari ciottoli	0-3	19,5	34	0	-	35
3	Limo ghiaioso	3-6	19	28	0	40	8
2	Sabbia limosa ghiaiosa con rari ciottoli	6-10	19,5	34	0	-	35

Dai dati di progetto, risulta che l'estradosso dello scatolare si trova a quota di circa -2m dal piano campagna. A favore di sicurezza, quindi, si considera immerso nell'unità geologica **3** per i 3m superiori e nella unità **2** per la restante parte.

Dalle indagini geotecniche è stata desunta una quota di falda posta circa a profondità minima di 4.5 metri da p.c. e, pertanto, risulta parzialmente interferente con l'opera.

Ai fini della definizione della categoria sismica del sottosuolo, nei pressi dell'opera è stata eseguita, a cura della società Socotec, una prova MASW, dalla quale è stata estrapolata una velocità $V_{s,30} = 427\text{m/s}$. Il terreno di fondazione rientra quindi in categoria stratigrafica B.

Prova	$V_s(\text{eq})$	Suolo
MASW 17	427	B

Nel software di calcolo, per simulare il comportamento del terreno di fondazione e di rinfiamento, vengono inserite delle molle alla Winkler non reagenti a trazione. Il terreno di base è stato modellato come un mezzo elastico omogeneo a cui si è assegnata un'apposita costante di sottofondo.

In base ai dati geotecnici riportati, si calcola il modulo di reazione verticale del terreno tramite la formulazione di Vesic:

$$K = \frac{0.6SE}{1-\nu^2} \sqrt[3]{\frac{Eb^4}{(EJ)_{fond}}}$$

Essendo:

E = modulo elastico del terreno

ν = coefficiente di poisson del terreno

b = larghezza della fondazione

$(EJ)_{fond}$ = modulo elastico e momento di inerzia della fondazione

E_terr	35	MPa
ν	0,25	-
h_fond	1	m
b_fond	1	m
Jfond	0,083333	m ⁴
fck	32	MPa
E_fond	33345,76	MPa
K	16853,66	kN/m ³

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno $K_w = 16800 \text{ kN/m}^3$, in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

6 CODICE DI CALCOLO

Il dimensionamento dell'opera è stato ottenuto mediante modellazione ad elementi finiti monodimensionali tipo “*beam*” tramite il programma di calcolo Midas Civil.

Le analisi condotte all'interno del modello agli elementi finiti sono volte a determinare lo stato di sollecitazione del manufatto durante tutta la sua esistenza.

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi Celsius °
- angoli: gradi sessadecimali.

7 MODELLO DI CALCOLO

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L_{tot}	10.0	m
Larghezza utile	L_{int}	8.00	m
Larghezza di calcolo	L	9.00	m
Spessore soletta superiore	S_s	1.00	m
Spessore piedritti	S_p	1.00	m
Spessore fondazione	S_f	1.00	m
Altezza totale	H_{tot}	6.50	m
Altezza libera	H_{int}	4.50	m
Altezza di calcolo	H	5.50	m
Spessore medio del ballast (armamento ferroviario)	H_b	1.00	m
Spessore rinterro superiore	H_r	0	m

Le analisi per il calcolo delle sollecitazioni agenti sono state condotte su una porzione di struttura di lunghezza unitaria.

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

Nella modellazione vengono impiegati elementi finiti di tipo trave a 6 GL, che ovviamente nell'analisi 2D condotta (telaio piano) si riducono a 3. Ai suddetti elementi sono assegnate le caratteristiche inerziali della struttura reale derivanti dalle proprietà dei materiali e dalla geometria della sezione.

La geometria del modello ricalca la linea baricentrica degli elementi costituenti l'opera (modello in asse), pertanto alle intersezioni delle aste viene applicato un offset rigido che tiene conto delle dimensioni effettive delle sezioni degli elementi.

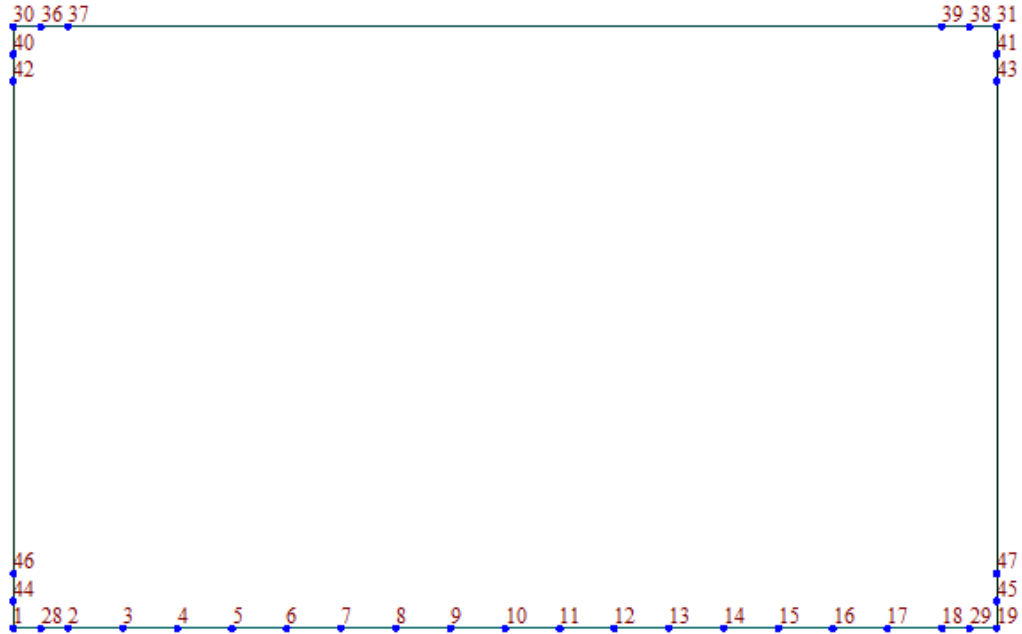


Figura 5: Numerazione dei nodi nel modello strutturale

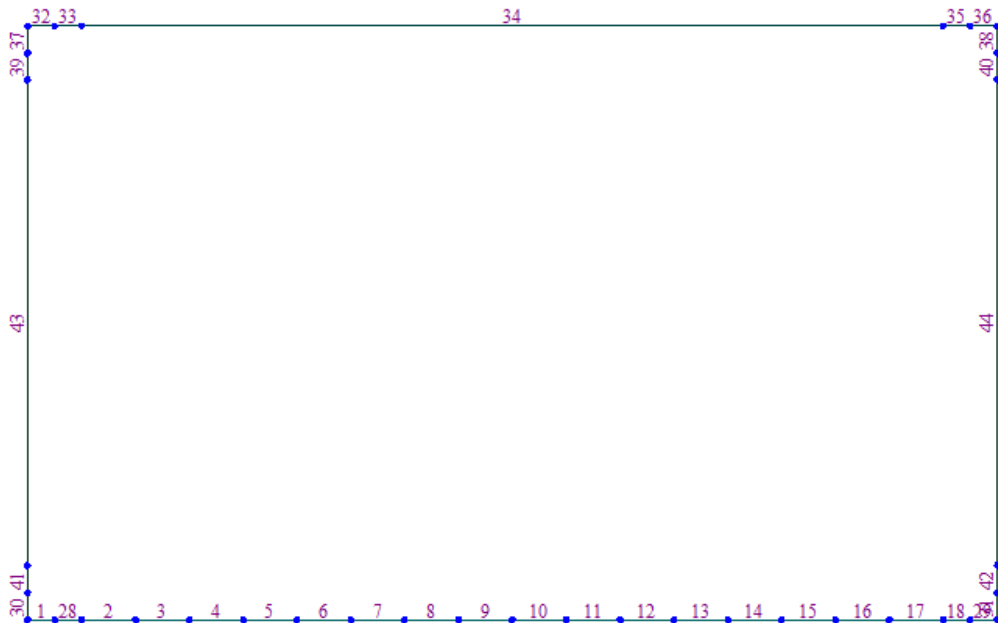


Figura 6: Numerazione dei frame nel modello strutturale

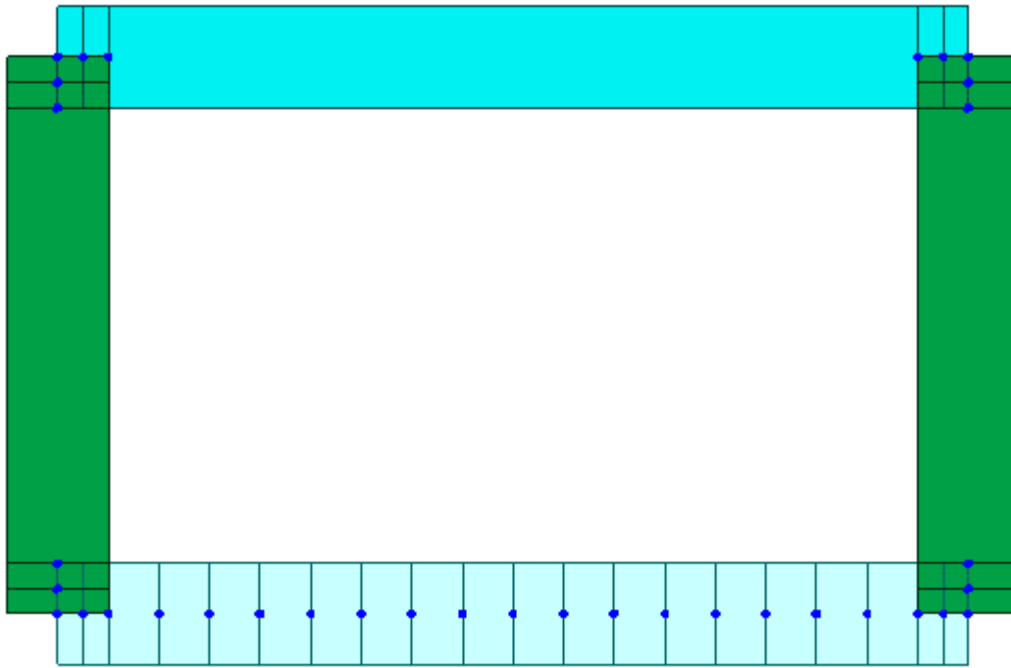


Figura 7: Vista del modello strutturale con spessore degli elementi

7.1 MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno $K_s = 16800 \text{ kN/m}^3$, in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

La soletta inferiore viene suddivisa in 18 segmenti di pari lunghezza, ossia 19 nodi (numerazione da 1 a 19) ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello ($B=1,0\text{m}$), si ha:

Molla centrale

$$K_{10} = K_s \cdot (S_p/2 + L_{int} + S_p/2) / 18 = 8400 \text{ kN/m}$$

I valori delle molle di spigolo si ottengono con la seguente formulazione:

$$K_1 = K_{19} = 2 \cdot K_s \cdot [(S_p/2 + L_{int} + S_p/2) / 18/2 + (S_p/2)] = 25200 \text{ kN/m}$$

ed infine i valori delle molle nei nodi 2÷18 (eccetto il nodo 10) come da letteratura si assumono:

$$K_{2-18} = 1.5 \cdot K_{10} = 12600 \text{ kN/m}$$

8 ANALISI DEI CARICHI

Il dimensionamento delle strutture viene effettuato sulla base delle azioni elementari riportate nei successivi paragrafi.

Le forze centrifughe e spinte di serpeggio non sono considerate perché non dimensionanti.

8.1 PESO PROPRIO

Il peso proprio degli elementi strutturali viene tenuto in conto direttamente dai software di calcolo di riferimento una volta definite le geometrie ed il materiale ($\gamma_{cis} = 25 \text{ kN/m}^3$).

8.2 SPINTE DEL TERRENO E DELL'ACQUA

Nel caso in esame a monte della parete è presente la falda a partire da 4.5m dal piano di campagna. Come descritto in precedenza, l'estradosso dell'opera si trova a circa -2m dal p.c., quindi la falda si considera a quota -2.5m dall'estradosso.

Il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno e $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

Le caratteristiche assunte per il terreno, ponendo $z=0$ all'estradosso dello scatolare, sono le seguenti:

	Z	γ [kN/m ³]	Falda	φ' [°]	$K_0 = 1 - \sin\varphi$
Ug3	0 ÷ -2.5	19	No	28	0.53
	-2.5 ÷ 3	9	Sì	28	0.53
Ug2	-3 ÷ -6.5	9.5	Sì	34	0.44

Sopra l'estradosso dello scatolare, in sede ferroviaria, si considera 1m di ricoprimento (ballast) di peso specifico $\gamma_{bal} = 18 \text{ kN/m}^3$. Perciò le spinte del terreno sulla parete verticale sono le seguenti:

Cond. STR

$p_{z=0} =$	9.5	kN/m	Pressione estradosso soletta superiore
$p_{z=-0.5m} =$	14.6	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
$p_{z=-2.5m} =$	34.7	kN/m	Pressione alla profondità della falda
$p_{z=-3m} =$	37.1	kN/m	Pressione alla profondità dell'Ug 2
$p_{z=-6m} =$	43.3	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
$P_{z=-6.5} =$	45.4	kN/m	Pressione intradosso soletta inferiore

La parte di spinta del terreno esercitata su metà spessore della soletta superiore e quello agente su metà spessore della soletta inferiore è applicata come carico concentrato nei nodi di estremità del piedritto.

Carico concentrato sui nodi 30,1 e 31,19

Nodi sup.	$1/2 * (p_{z=0} + p_{z=-0.5}) * S_f/2$	6.0	kN	Spinta semispessore soletta superiore
Nodi inf.	$1/2 * (p_{z=-6} + p_{z=-6.5}) * S_f/2$	22.2	kN	Spinta semispessore soletta inferiore



Figura 8: Spinte del terreno

Le spinte dell'acqua sulle pareti verticali e sul fondo sono le seguenti:

Cond. SAq			
$p_{z=0} =$	0	kN/m	Pressione estradosso soletta superiore
$p_{z=-0.5m} =$	0	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
$p_{z=-2.5m} =$	0	kN/m	Pressione alla profondità della falda
$p_{z=-3m} =$	5.0	kN/m	Pressione alla profondità dell'Ug 2
$p_{z=-6m} =$	35.0	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
$P_{z=-6.5} =$	40.0	kN/m	Pressione intradosso soletta inferiore e fondo

La parte di spinta idrostatica esercitata su metà spessore della soletta inferiore e del piedritto è applicata come carico concentrato nei nodi di estremità del piedritto.

Carico concentrato sui nodi 1 e 19				
Nodi inf.	$1/2 * (p_{z=-6} + p_{z=-6.5}) * S_f/2$	18.8	kN	Spinta semispessore soletta inferiore
	$p_{z=-6} * S_f/2$	20.0	kN	Sottospinta semispessore piedritto

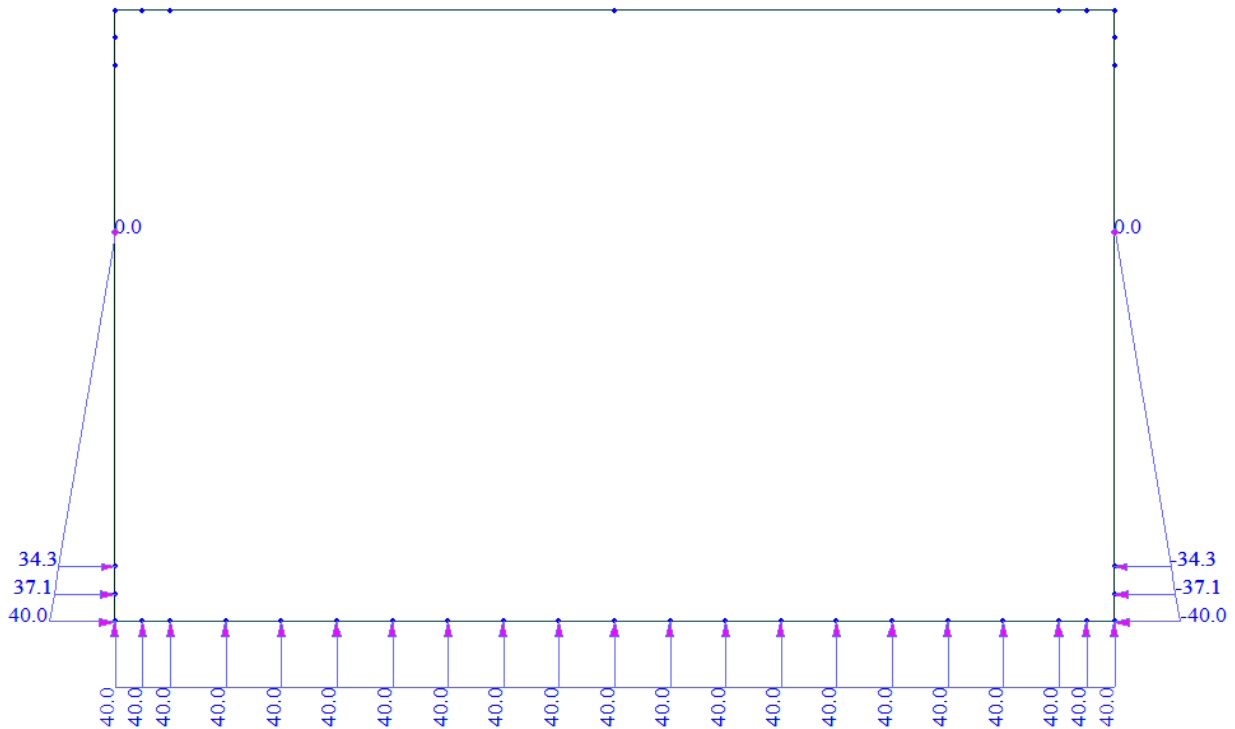


Figura 9: Spinta idrostatica

8.3 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

8.3.1 Ricoprimento, ballast e armamento

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ballast, compresa la traversina, $s_{bal}=1.00m$ con peso di unità di volume $\gamma_{bal} = 18.0 \text{ kN/m}^3$. Il carico uniformemente distribuito verticale agente sulla soletta superiore corrisponde a $q_{bal} = 18.0kN/m$ ed in corrispondenza dei nodi 24 e 25, la parte di carico del ballast verticale esercitata su 1/2 spessore dei piedritti è pari a 9kN.



Figura 10: Carichi sulla soletta superiore

8.4 CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO FERROVIARIO

Nell'ambito dello scatolare ferroviario, si è fatto riferimento al D.M. 17/01/2018 (§5.2), considerando i carichi variabili da azioni da traffico ferroviario:

"I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale (LM71) e pesante (SW).

I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento "α", variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere,

metropolitane, ecc.)", come definito in Tab. 2.5.1.4.1-1 Coefficiente "α" del MdP RFI 2021 e di seguito riportata.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"
LM71	1,10
SW/0	1,10
SW/2	1,00

8.4.1 Effetti dinamici

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

In accordo con la figura 2.5.1.4.2.4-1 del MdP RFI 2021 non è richiesta l'analisi dinamica. Infatti:
 Velocità massima della linea ≤ 200 km/h:

Il ponte non è continuo trattandosi di un sottovia
 n_0 entro i limiti di fig.1.4.2.4.2

Quest'ultima condizione, per strutture scatolari come quella in esame (sottovia di altezza libera $\leq 5,0$ m e luce libera $\leq 8,0$ m), in accordo con quanto specificato al punto 5.4 della Tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 del MdP, è automaticamente verificata e gli effetti di amplificazione dinamica sono tenuti in conto attraverso il coefficiente di incremento dinamico Φ :

$$\Phi_3=1,35$$

TRAVI PRINCIPALI		
5	5.1 Travi e solette semplicemente appoggiate (compresi i solettoni a travi incorporate)	luce nella direzione delle travi principali
	5.2 Travi e solette continue su n luci, indicando con: $L_m = 1/n \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$	$L_\phi = kL_m$ dove: $n = 2 - 3 - 4 - \geq 5$ $k = 1,2 - 1,3 - 1,4 - 1,5$
	5.3 Portali: - a luce singola - a luci multiple	da considerare come trave continua a tre luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti e la lunghezza del traverso) da considerare come trave continua a più luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti terminali e la lunghezza di tutti i traversi)
	5.4 Solette ed altri elementi di scatolari per uno o più binari (sottovia di altezza libera $\leq 5,0$ m e luce libera $\leq 8,0$ m). Per gli scatolari che non rispettano i precedenti limiti vale il punto 5.3, trascurando la presenza della soletta inferiore e considerando un coefficiente riduttivo del Φ pari a 0,9, da applicare al coefficiente Φ	$\Phi_2 = 1,20; \Phi_3 = 1,35$
	5.5 Travi ad asse curvilineo, archi a spinta eliminata, archi senza riempimento.	metà della luce libera
	5.6 Archi e serie di archi con riempimento	due volte la luce libera

8.4.2 Carichi ferroviari

I carichi da treno presi in considerazione nei calcoli sono il modello LM71 e SW/2.

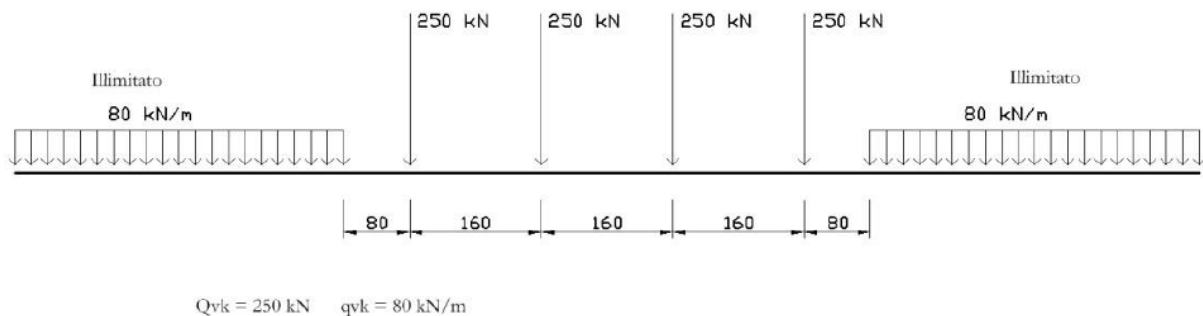


Figura 11: Treno di carico LM71

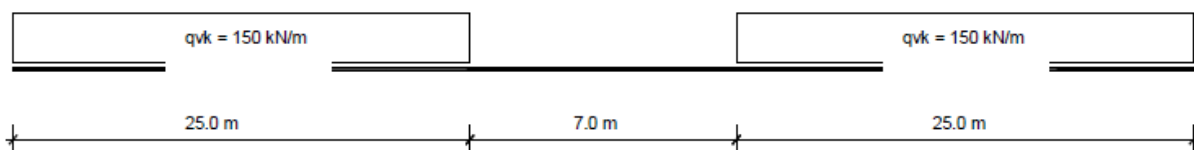


Figura 12: Treno di carico SW/2

Si considera che i sovraccarichi ferroviari si distribuiscano attraverso il ricoprimento con una pendenza 1 a 4 all'interno del ballast, con un angolo di diffusione pari all'angolo di attrito interno del terreno nel sub-ballast, super compattato, rinterro e con la pendenza a 45° all'interno del CLS.

Nel caso in esame la diffusione trasversale del carico ferroviario interessa una larghezza pari a:

Diffusione del carico in senso trasversale		
$L_d = L_t + ([H_b/4 + H_r /2+ S_s/2] * 2$	3.9	m

dove L_t indica la lunghezza della traversa pari a 2,40 m, $H_b = 1.0\text{m}$, $H_r=0\text{ m}$. $S_s=1.0\text{m}$.

Pertanto, il carico ripartito, dovuto al treno LM71 (considerando il coefficiente di adattamento $\alpha=1.10$, il coefficiente dinamico $\Phi_3=1.35$), risulta:

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate		
$Q_{vk} = (4*250/6.40)*\alpha*\Phi_3/L_d$	59.5	kN/m ²
Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		
$q_{vk} = (80*\alpha*\Phi_3)/L_d$	30.5	kN/m ²



Figura 13: Carichi Treno LM71 max carico sulla soletta

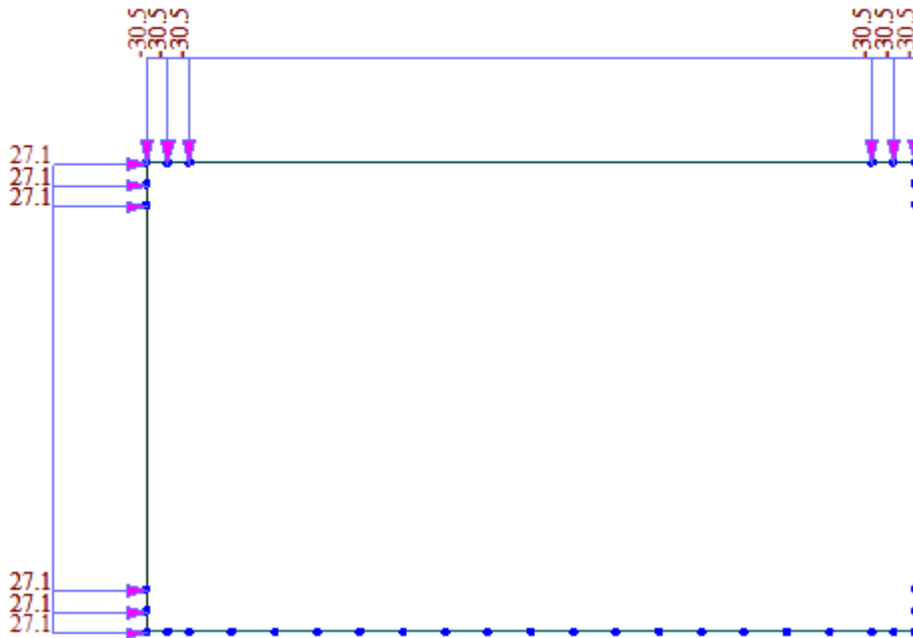


Figura 14: Carichi Treno LM71 max spinta sui piedritti

Oltre al carico distribuito sugli elementi, si è considerato il carico concentrato ai nodi di estremità dovuto agli spessori non modellati.

Il carico ripartito dovuto al treno SW/2, invece, (considerando il coefficiente di adattamento $\alpha=1.0$, il coefficiente dinamico $\Phi_3=1.35$), risulta:

Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		
$q_{vk} = (150 \cdot \alpha \cdot \Phi_3) / L_d$	53.2	kN/m ²

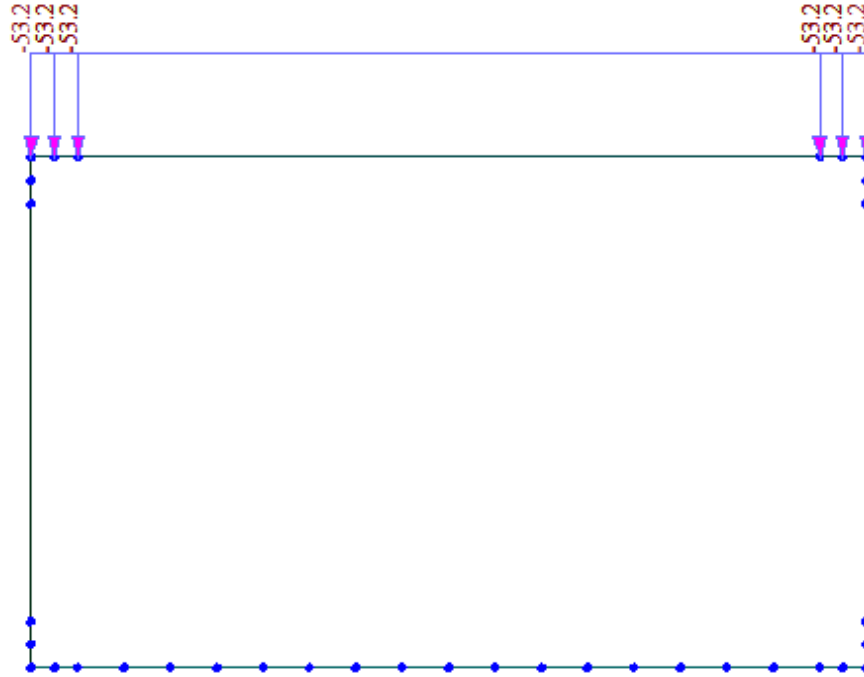


Figura 15: Carichi Treno SW/2max carico sulla soletta

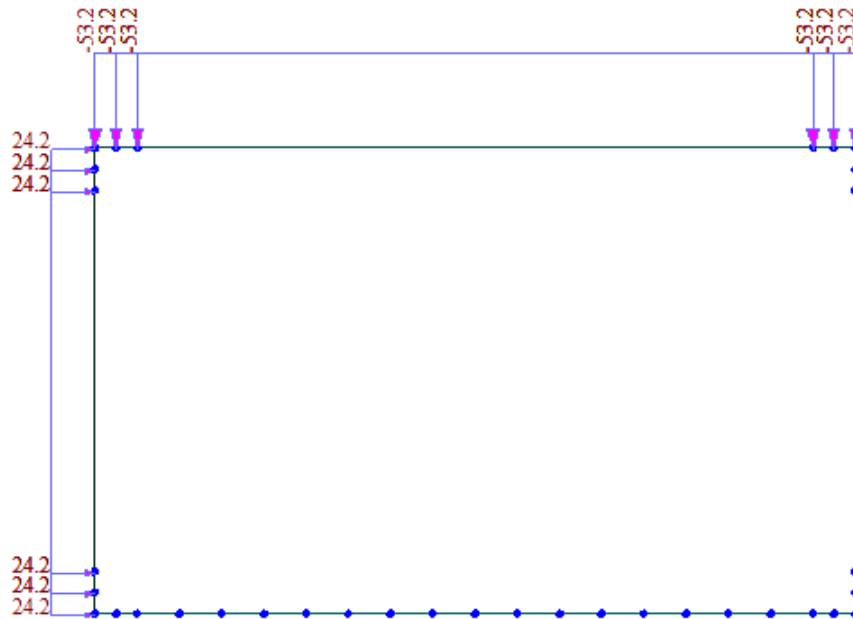


Figura 16: Carichi Treno SW/2 max spinta sui piedritti

8.4.3 Frenatura e avviamento

Le sollecitazioni di frenatura ed avviamento agenti sulla sommità dei binari ed in direzione longitudinale degli stessi valgono secondo quanto indicato nella seguente tabella:

SOLLECITAZIONE	TRENO DI CARICO	CARICO [kN/m]
Avviamento	LM 71 – SW0 – SW2	33
Frenatura	LM 71 – SW0	20
Frenatura	SW2	35

Tabella 1 – Avviamento e frenatura

Le azioni di avviamento e frenatura saranno combinate con i relativi carichi verticali ed applicate direttamente al solettone di copertura del tombino.

Così come indicato sul MdP RFI 2021 §2.5.1.4.3.3, "i valori caratteristici dell'azione di frenatura e di quella di avviamento devono essere moltiplicati per α e non devono essere moltiplicati per Φ ".

Pertanto, tenendo conto di ciò e distribuendo tali carichi su una larghezza di diffusione pari alla larghezza della traversa, si ha:

Treno	Tipo	$Q_{la,k}$	$Q_{lb,k}$	L_d	α	$Q_{da,k}$	$Q_{db,k}$
		[kN/m]	[kN/m]	[m]	[-]	[kN/m]	[kN/m]
LM71 - SW/0 - SW/2	Avviamento	33.0	.-	3.90	1.1	10.4	-
LM71	Frenatura	-	20.0	3.90	1.1	-	6.2
SW/2	Frenatura	-	35.0	3.90	1.0	-	10.0

I valori dell'azione distribuita applicata al modello ($Q_{d,k}$) sono ottenuti dalla seguente formula:

$$Q_{d,k} = Q_{l,k} \cdot \alpha \cdot L_{tot} / (L \cdot L_d)$$

8.5 AZIONI TERMICHE

La variazione termica uniforme applicata alla soletta di copertura è pari a $\Delta T = \pm 15^\circ C$.

Il gradiente termico applicato alla soletta di copertura è pari a $\Delta T = \pm 5^\circ C$.

8.6 RITIRO

Gli effetti del ritiro vanno valutati a "lungo termine" attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti in D.M.17-01-2018. I fenomeni di ritiro

vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro.

Tale variazione di temperatura (ΔT_{ritiro}) è stata calcolata nelle seguenti ipotesi:

Umidità media RH: 80%

In accordo con paragrafo 11.2.10.6 del D.M.17-01-2018 si ha:

$$\varepsilon_{c0} = -0.24\text{‰};$$

$$h_0 = 2000\text{mm};$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = -0.24 \cdot k_h = -0.24 \times 0.70 = -0.168\text{‰}.$$

il valore medio del ritiro autogeno è invece calcolato con la formula 11.2.10 del D. M. 17-01-2018:

$$\varepsilon_{ca} = 0.000055;$$

Per cui la deformazione totale per ritiro vale:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0.000168 + 0.000055 = 0.000223.$$

Il coefficiente di dilatazione termica $\alpha = 0.000012$, per cui:

$$\Delta T = \varepsilon_{cs} / \alpha = 18.6^\circ\text{C}$$

8.7 AZIONI SISMICHE

Nell'analisi pseudo-statica l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k.

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

$$F_h = k_h \cdot W ; \quad \text{forza sismica orizzontale}$$

$$F_v = k_v \cdot W ; \quad \text{forza sismica verticale}$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} ; \quad \text{coeff. sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h ; \quad \text{coeff. sismico verticale}$$

Dove:

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

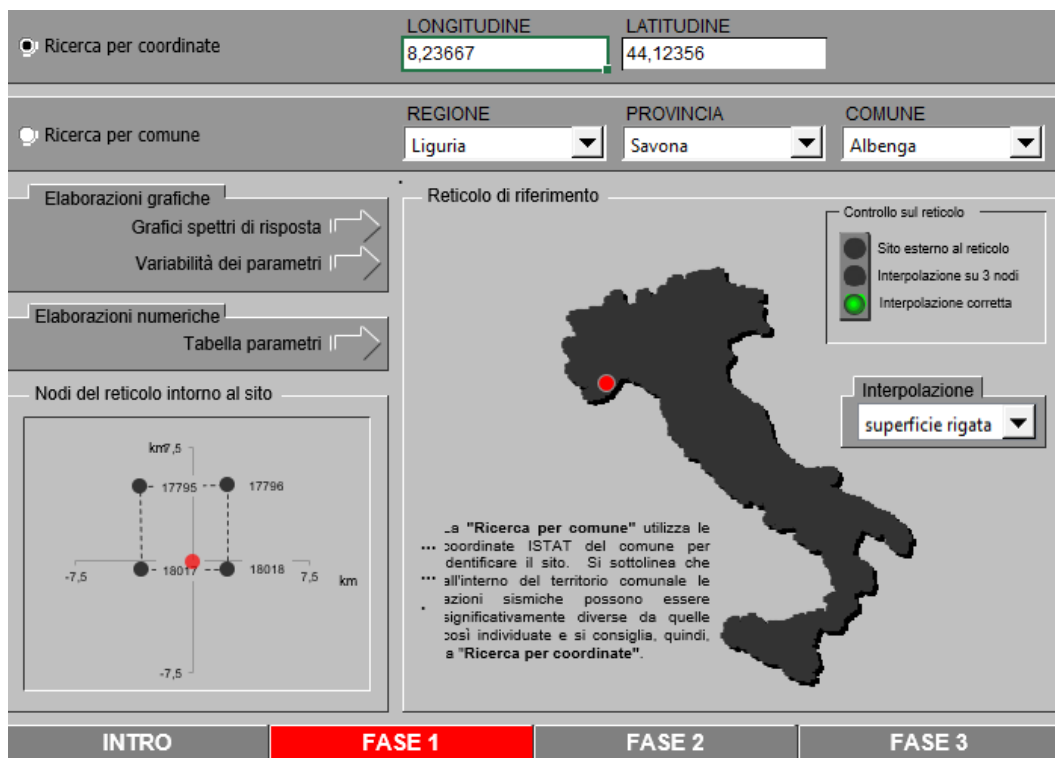
S_S = coeff. amplificazione stratigrafica

S_T = coeff. di amplificazione topografica

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

8.7.1 Pericolosità sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito si è utilizzata la zonazione di cui al DM 17/01/2018, introducendo le coordinate geografiche di latitudine e longitudine proprie del sito di costruzione.



Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 8,23667
 LATITUDINE: 44,12356

Ricerca per comune
 REGIONE: Liguria
 PROVINCIA: Savona
 COMUNE: Albenga

Elaborazioni grafiche:
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito
 Diagramma: km 7,5, 17795, 17796, 18017, 18018, 7,5 km, -7,5

Reticolo di riferimento
 Controllo sul reticolo:
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione:
 superficie rigata

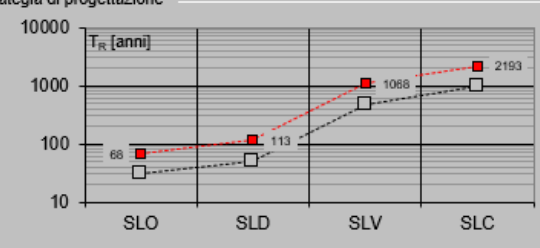
... "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera $V_N = 75$ anni
- Classe d'uso dell'opera III $C_U = 1.5$

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N	<input type="text" value="75"/>	info								
Coefficiente d'uso della costruzione - c_U	<input type="text" value="1.5"/>	info								
Valori di progetto										
Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R	<input type="text" value="112.5"/>	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"/>								
<table border="1"> <tr> <td>Elaborazioni</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grafici parametri azione</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Grafici spettri di risposta</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tabella parametri azione</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			Elaborazioni		Grafici parametri azione	<input type="checkbox"/>	Grafici spettri di risposta	<input type="checkbox"/>	Tabella parametri azione	<input type="checkbox"/>
Elaborazioni										
Grafici parametri azione	<input type="checkbox"/>									
Grafici spettri di risposta	<input type="checkbox"/>									
Tabella parametri azione	<input type="checkbox"/>									
<table border="1"> <tr> <td>LEGENDA GRAFICO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>---□---</td> <td>Strategia per costruzioni ordinarie</td> </tr> <tr> <td>---■---</td> <td>Strategia scelta</td> </tr> </table>			LEGENDA GRAFICO		---□---	Strategia per costruzioni ordinarie	---■---	Strategia scelta		
LEGENDA GRAFICO										
---□---	Strategia per costruzioni ordinarie									
---■---	Strategia scelta									
<p>Strategia di progettazione</p> 										
INTRO	FASE 1	FASE 2								
		FASE 3								

L'azione sismica di progetto viene calcolata con riferimento allo SLV, per il quale si calcola un periodo di ritorno dell'azione sismica di progetto pari a 712 anni. In funzione del periodo di ritorno dell'azione sismica, sono definiti i parametri di base dell'azione sismica:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

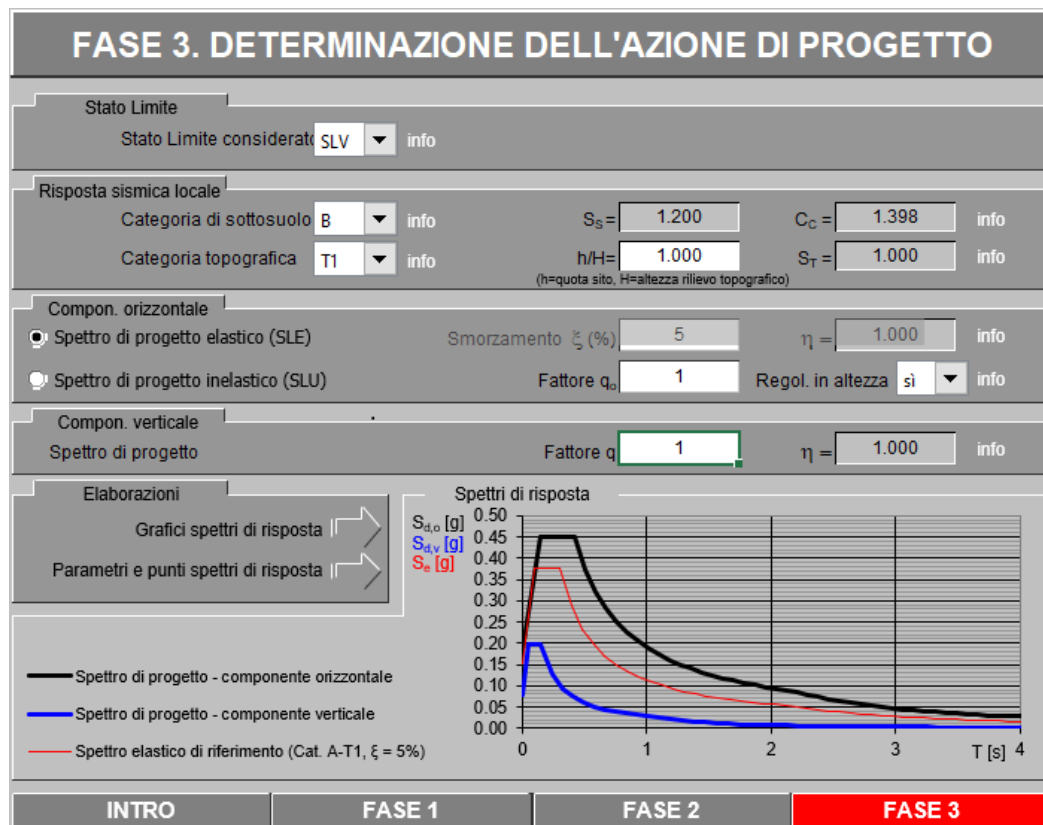
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	68	0.037	2.542	0.212
SLD	113	0.050	2.525	0.243
SLV	1068	0.152	2.472	0.301
SLC	2193	0.203	2.495	0.315

In funzione della categoria del sottosuolo e della categoria topografica, si valutano le azioni sismiche di base per il sito in esame. In particolare, sono definite:

- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Da cui si evincono i seguenti valori del coefficiente stratigrafico e topografico

- Coefficiente stratigrafico $S_S = 1.20$
- Coefficiente topografico $S_T = 1.00$



Come anzidetto, il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. I valori dei coefficienti sismici orizzontali k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove :

$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$ accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

Coefficienti sismici agli SLV			
$S = S_s \times S_T$	=	1.20	
a_{\max}	=	0.152	g
β_m	=	1.00	Struttura che non subisce spostamenti
K_h	=	0.182	coeff. sismico orizzontale
K_v	=	0.091	coeff. sismico verticale

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$$

Dove si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari $\psi_{2j} = 0,2$ così come definito in Tabella 5.2.V del MdP RFI 2021.

G_1 = massa associata al peso proprio;

G_2 = massa associata al carico permanente;

Q_k = carico ferroviario.

8.7.2 Sovrappinta sismica del terreno

In base alla teoria di Wood la risultante dell'incremento di spinta sismico su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2$$

La risultante viene applicata ad un'altezza pari ad $H/2$ e considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

Pertanto, allo SLV, l'incremento di spinta del terrapieno sulla parete risulta:

$$q_E = (\gamma_a + \gamma'_t) \cdot H_t \cdot k_h = 23.1 \text{ kN/m}^2$$

Con:

$$\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$$

$$\gamma'_t = 9.5\text{kN/m}^3$$

$H_t = 6.5\text{m}$ altezza totale della struttura

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 30 e 1 le seguenti forze, derivanti dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

Nodi sup. (SISX) sul nodo 30		
$q_E * S_s / 2$	11.5	kN

Nodi inf (SISX) sul nodo 1		
$q_E * S_i / 2$	11.5	kN

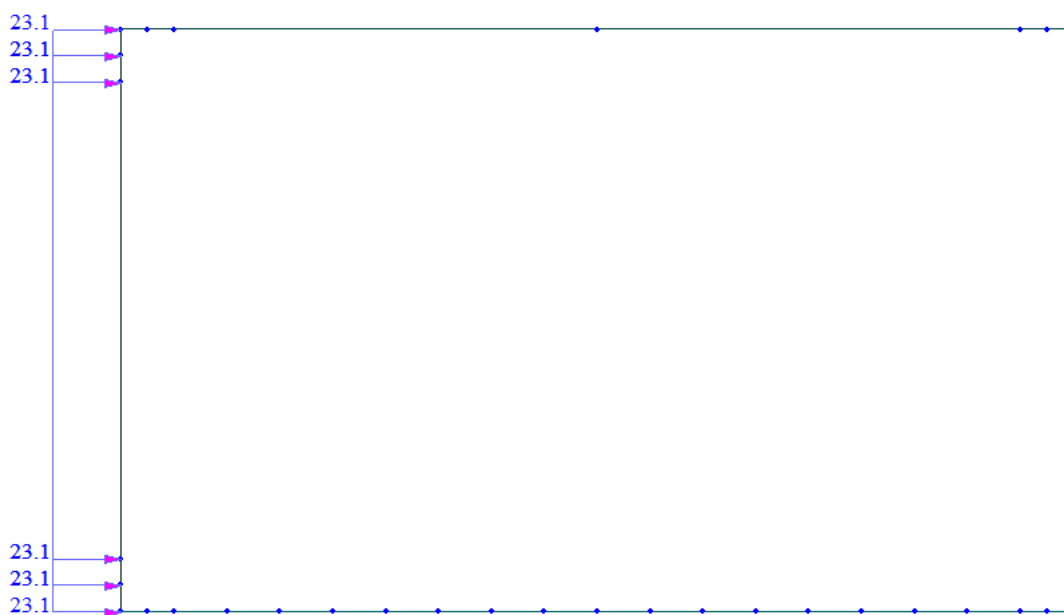


Figura 17: Sovrappinta sismica del terreno

8.7.3 Forze inerziali dovute ai carichi permanenti sulla soletta superiore

Mentre le forze sismiche inerziali dovute al peso proprio strutturale sono applicate sottoforma di accelerazione k_h e k_v in direzione orizzontale e verticale, l'azione sismica dovuta all'inerzia delle masse presenti sulla soletta superiore è rappresentata da un insieme di forze, date dal prodotto delle suddette accelerazioni per le masse stesse, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

Si ha dunque:

$$F_{h,bal} = q_{bal} \cdot L_{tot} \cdot k_h / L = 3.6 \text{ kN/m}$$

$$F_{v,bal} = q_{bal} \cdot L_{tot} \cdot k_v / L = 1.8 \text{ kN/m}$$

Inoltre, tra le masse sismiche si considerano le azioni dovute al carico ferroviario con coefficiente pari a 0.20 (cfr tab.5.2.V):

$$F_{h,tr} = 0.2 \cdot Q_{vk} \cdot L_{tot} \cdot k_h / L = 2.4 \text{ kN/m}$$

$$F_{v,tr} = 0.2 \cdot Q_{vk} \cdot L_{tot} \cdot k_v / L = 1.2 \text{ kN/m}$$

In totale si ottiene:

$$F_h = F_{h,bal} + F_{h,tr} = 6.0 \text{ kN/m}$$

$$F_v = F_{v,bal} + F_{v,tr} = 3.0 \text{ kN/m}$$

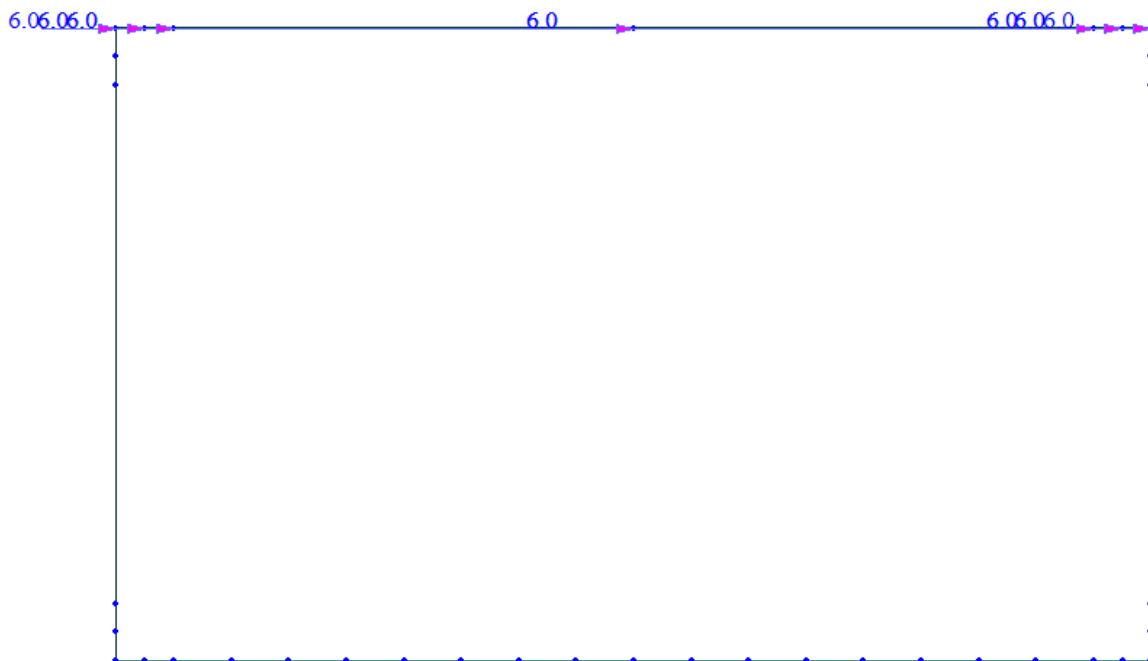


Figura 18: Forza inerziale orizzontale

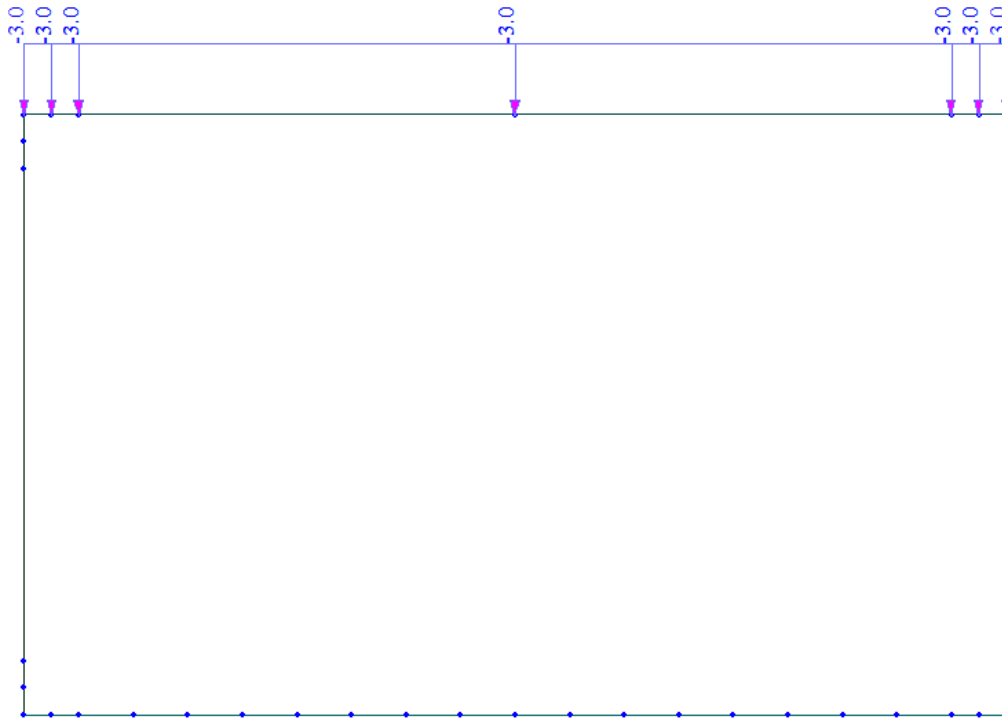


Figura 19: Forza inerziale verticale

9 COMBINAZIONI DI CARICO

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza è stata effettuata con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right];$$

Il coefficiente γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. I coefficienti parziali di sicurezza, $\gamma_{M,i}$ e $\gamma_{F,j}$, associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ con $\gamma_E = \gamma_F$:

$$E_d = \gamma_E E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right];$$

La verifica della relazione $R_d \geq E_d$ è stata effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali (cfr tabelle sotto), rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

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

Tabella 2 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 3 – Coefficienti parziali per le resistenze

Nel caso specifico le verifiche tipo geotecniche (GEO), di equilibrio di corpo rigido (EQU) e strutturali (STR) sono state condotte sulla base dell'Approccio 2, che prevede la combinazione dei seguenti coefficienti:

A1+M1+R3

Per le verifiche agli stati limite si considerano le combinazioni di carico previste nel DM del 17/01/2018 al punto 2.5.3 (“Combinazioni delle azioni”) che descrivono le combinazioni in generale.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_2 \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente (SLE) impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla *Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018* di seguito riportata.

In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.IV -Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	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

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nella tabella sopra riportata è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si considera il solo Gruppo di Carico 3 che risulta maggiormente gravoso rispetto al Gruppo 1. A favore di sicurezza, essendo il problema della fessurazione molto sentito nelle opere ferroviarie interrate, il Gruppo 3 viene considerato anche ai fini delle verifiche a fessurazione (da eseguirsi in combinazione rara).

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come Q_{ki} .

I coefficienti di amplificazione dei carichi g e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	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 SLU e SLE	0,80 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente $\psi_2 = 0,2$ (punto 3.2.4 del DM 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Le condizioni elementari e le combinazioni di carico sono elencate per esteso nelle tabelle seguenti.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
 TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
 PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro
 Relazione di calcolo scatolare ferroviario

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 IV01 00 D 26 CL IN 2500 001 A 39 di 88

COMB	G1	Sacqua	Sterre SX	Sterre DX	G2	LM71_1	LM71_2	SW/2_1	SW/2_2	Avv	Fren_LM71	Fren_SW/2	DT	GT	Rit	ST-Ex	Ex	Ez			
SLU 1	1.35	1.35	1	1	1.5	1.45	0	0	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 2	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 3	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.45	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 4	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.45	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 5	1.35	1.35	1	1	1.5	1.45	0	0	0	0	1.45	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 6	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 7	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 8	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0.9	-0.9	0	0	0			
SLU 9	1.35	1.35	1.5	1	1.5	1.45	0	0	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 10	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 11	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	1.45	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 12	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	0	1.45	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 13	1.35	1.35	1.5	1	1.5	1.45	0	0	0	0	1.45	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 14	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 15	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 16	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0.9	-0.9	0	0	0			
SLU 17	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	0	0	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 18	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 19	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	1.45	0	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 20	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	0	1.45	1.45	0	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 21	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	0	0	0	0	1.45	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 22	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 23	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 24	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	0	1.45	0	0	1.45	0.9	-0.9	0	0	0	0			
SLU 25	1.35	1.35	1	1	1.5	1.45	0	0	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 26	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.45	0	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 27	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.45	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 28	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.45	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 29	1.35	1.35	1	1	1.5	1.45	0	0	0	0	1.45	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 30	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 31	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.45	0	0	0	1.45	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 32	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.45	0	0	1.45	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 33	1.35	1.35	1.5	1	1.5	1.45	0	0	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 34	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	1.45	0	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 35	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	1.45	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 36	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	0	1.45	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 37	1.35	1.35	1.5	1	1.5	1.45	0	0	0	0	1.45	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 38	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 39	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	1.45	0	0	0	1.45	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 40	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	0	1.45	0	0	1.45	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 41	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	0	0	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 42	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	1.45	0	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 43	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	1.45	0	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 44	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	0	1.45	1.45	0	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 45	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	0	0	0	0	1.45	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 46	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 47	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	1.45	0	0	0	1.45	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 48	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	0	1.45	0	0	1.45	-0.9	0.9	1.2	0	0	0			
SLU 49	1.35	1.35	1	1	1.5	1.16	0	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 50	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.16	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 51	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.16	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 52	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.16	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 53	1.35	1.35	1	1	1.5	1.16	0	0	0	0	1.16	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 54	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.16	0	0	0	1.16	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 55	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.16	0	0	0	1.16	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 56	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.16	0	0	1.16	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 57	1.35	1.35	1.5	1	1.5	1.16	0	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 58	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	1.16	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 59	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	1.16	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 60	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	0	1.16	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 61	1.35	1.35	1.5	1	1.5	1.16	0	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 62	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	1.16	0	0	0	1.16	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 63	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	1.16	0	0	0	1.16	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 64	1.35	1.35	1.5	1	1.5	0	0	0	1.16	0	0	1.16	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 65	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.16	0	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 66	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	1.16	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 67	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	1.16	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 68	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	0	1.16	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 69	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.16	0	0	0	1.16	0	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 70	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	1.16	0	0	0	1.16	0	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 71	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	1.16	0	0	0	1.16	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 72	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	0	0	0	1.16	0	0	1.16	1.5	-1.5	0	0	0	0			
SLU 73	1.35	1.35	1	1	1.5	1.16	0	0	0	1.16	0	0	-1.5	1.5	1.2	0	0	0			
SLU 74	1.35	1.35	1	1	1.5	0	1.16	0	0	1.16	0	0	-1.5	1.5	1.2	0	0	0			
SLU 75	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	1.16	0	1.16	0	0	-1.5	1.5	1.2	0	0	0			
SLU 76	1.35	1.35	1	1	1.5	0	0	0	1.16	1.16	0	0	-1.5	1.5	1.2	0	0	0			
SLU 77	1.35	1.35	1	1	1.5	1.16															

10 CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI

I criteri generali di verifica utilizzati per la valutazione delle capacità resistenti delle sezioni, per la condizione SLU, e per le massime tensioni nei materiali nonché per il controllo della fessurazione, relativamente agli SLE, sono quelli definiti al p.to 4.1.2 del DM 17.01.18.

Le sezioni verificate sono le seguenti:

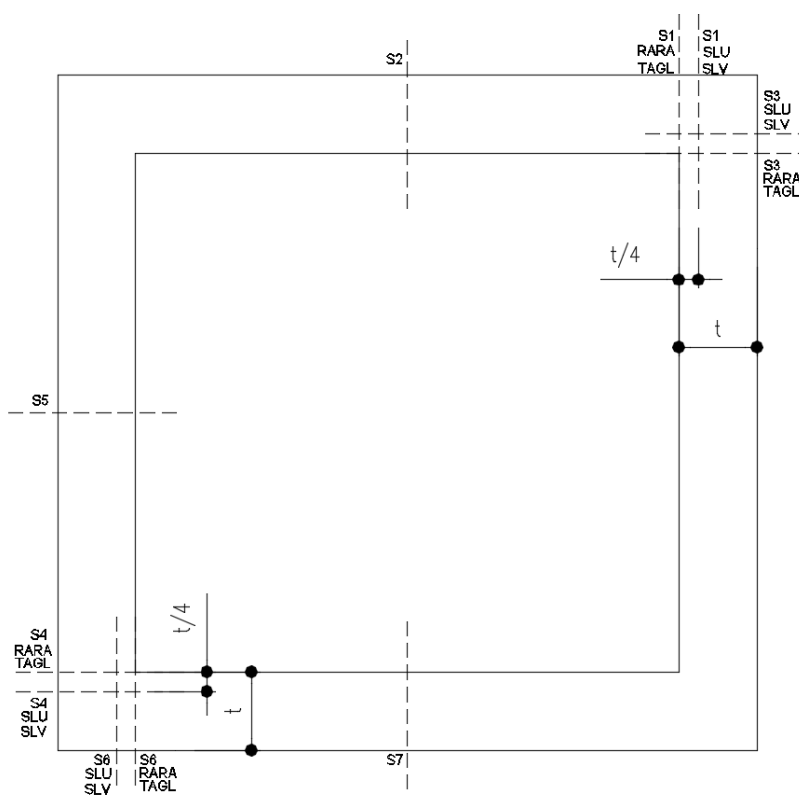
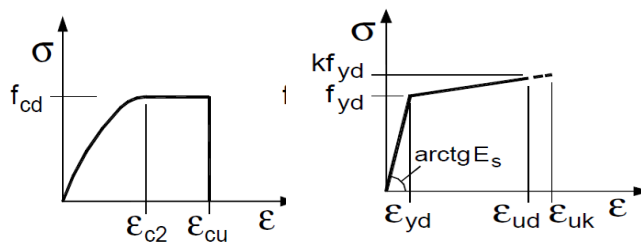


Figura 20: Sezioni di verifica

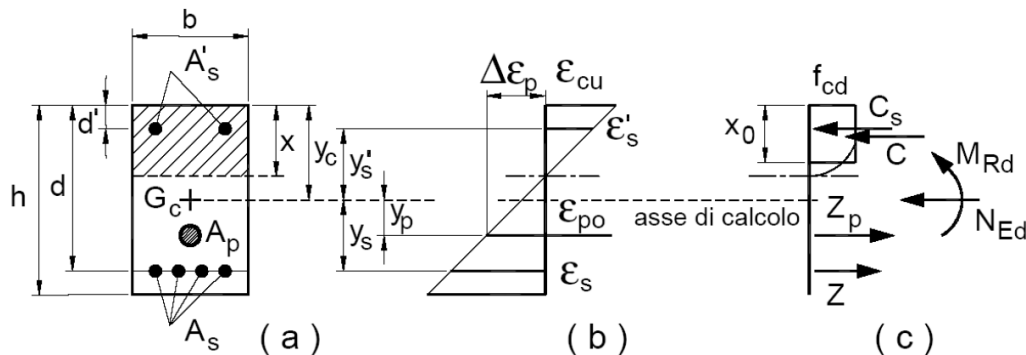
10.1 VERIFICHE ALLO SLU

10.1.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC18, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali:



Legami costitutivi Calcestruzzo ed Acciaio -



Schema di riferimento per la valutazione della capacità resistente a pressoflessione generica sezione -

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;

N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

10.1.2 Taglio

Per la verifica di resistenza allo SLU con riferimento alle sollecitazioni taglianti deve risultare:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

Il taglio V_{Ed} è pari ai massimi valori del taglio sollecitante derivante dall'analisi per i vari elementi strutturali. Per tutti gli elementi strutturali il massimo taglio si riscontra in corrispondenza della sezione di attacco tra l'elemento stesso e quello ad esso ortogonale.

[NTC – 4.1.2.1.3.1] La resistenza a taglio in assenza di armatura specifica risulta pari a:

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

dove:

- $v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$;
- $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$;
- $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02$;
- $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c \leq 0.02 f_{cd}$;
- d è l'altezza utile della sezione (in mm);
- b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

[NTC – 4.1.2.1.3.2] In presenza di armatura resistente a taglio, il taglio resistente V_{Rd} è il minimo tra la resistenza a taglio trazione V_{Rsd} e la resistenza a taglio compressione V_{Rcd} .

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

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot f'_{cd} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$$

in cui:

- d è l'altezza utile della sezione (in mm);
- b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).
- A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale;
- s è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;
- f'_{cd} è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima, pari a $0.5 f_{cd}$;
- α è l'inclinazione dell'armatura resistente a taglio rispetto all'asse dell'elemento;

- θ è l'inclinazione della biella di calcestruzzo compressa.

10.2 VERIFICHE AGLI SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio, il livello tensionale nei materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato.

10.2.1 Verifiche alle tensioni

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

Strutture in c.a.

Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

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

Tensioni di trazione nell'acciaio

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

10.2.2 Verifiche a fessurazione

La verifica a fessurazione consiste nel controllo dell'ampiezza massima delle fessure per le combinazioni di carico di esercizio i cui valori limite sono stabiliti, nell'ambito del progetto di opere ferroviarie, nel MdPRFI.

In particolare, l'apertura convenzionale delle fessure δ_f dovrà rispettare i seguenti limiti:

- $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$ per tutte le strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive (così come identificate dal DM 17.1.), per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie.

Tabella 4.1.III – *Descrizione delle condizioni ambientali*

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

In definitiva, nel caso in esame, con riferimento alle indicazioni della tabella di cui in precedenza, si adotta il limite $w_1=0.20 \text{ mm}$ sia per le parti in elevazione che per quelle in fondazione, in quanto in entrambi i casi trattasi di strutture a permanente contatto col terreno.

11 RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DELLO SCATOLARE

11.1 INVILUPPO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi effettuata mediante l'ausilio del programma di calcolo in termini di inviluppo delle sollecitazioni.

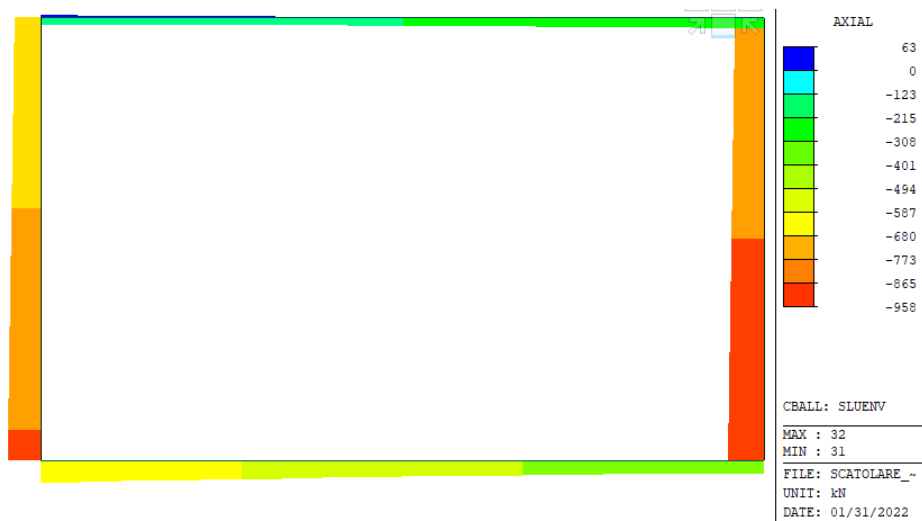


Figura 21 – Inviluppo Sforzo Normale SLU

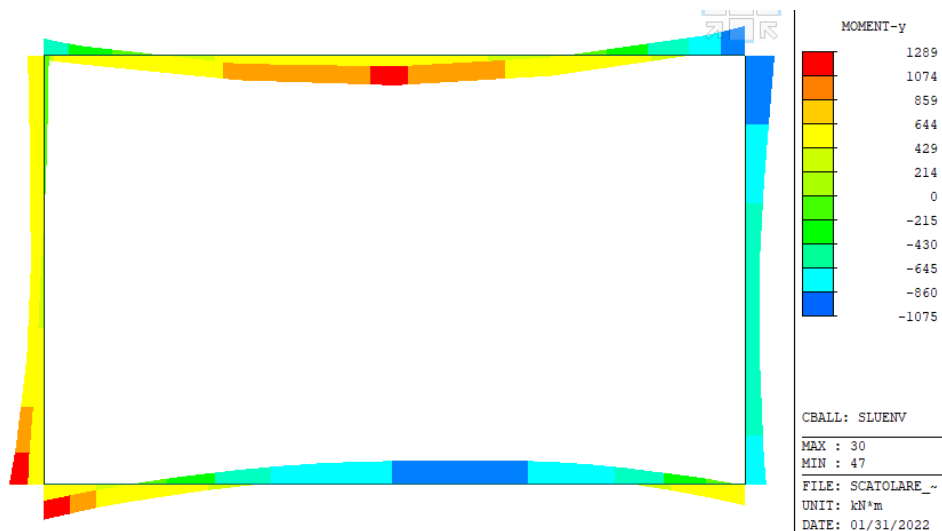


Figura 22 – Inviluppo Momento Flettente SLU

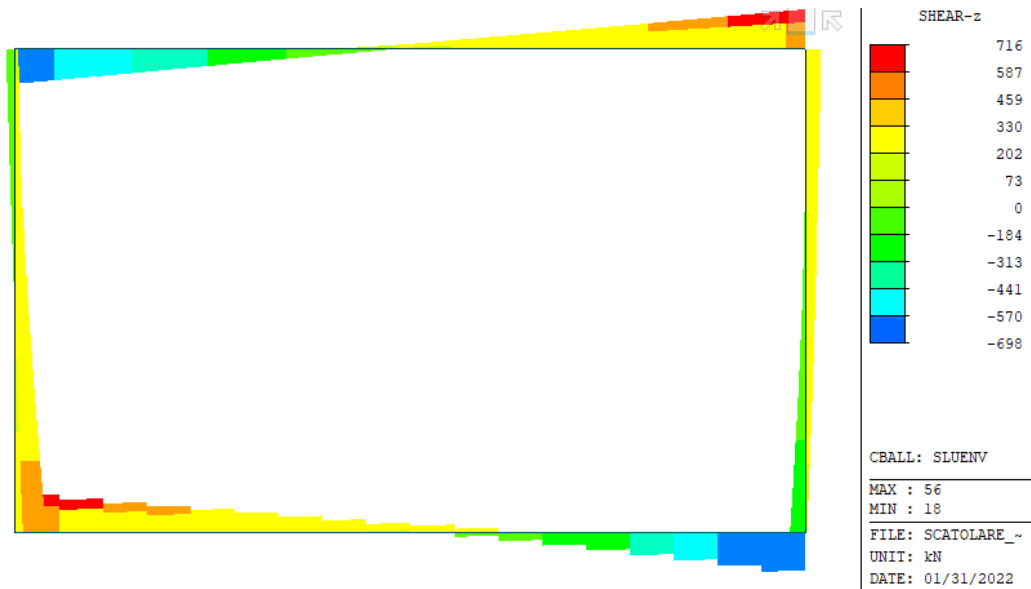


Figura 23 – Inviluppo Taglio SLU

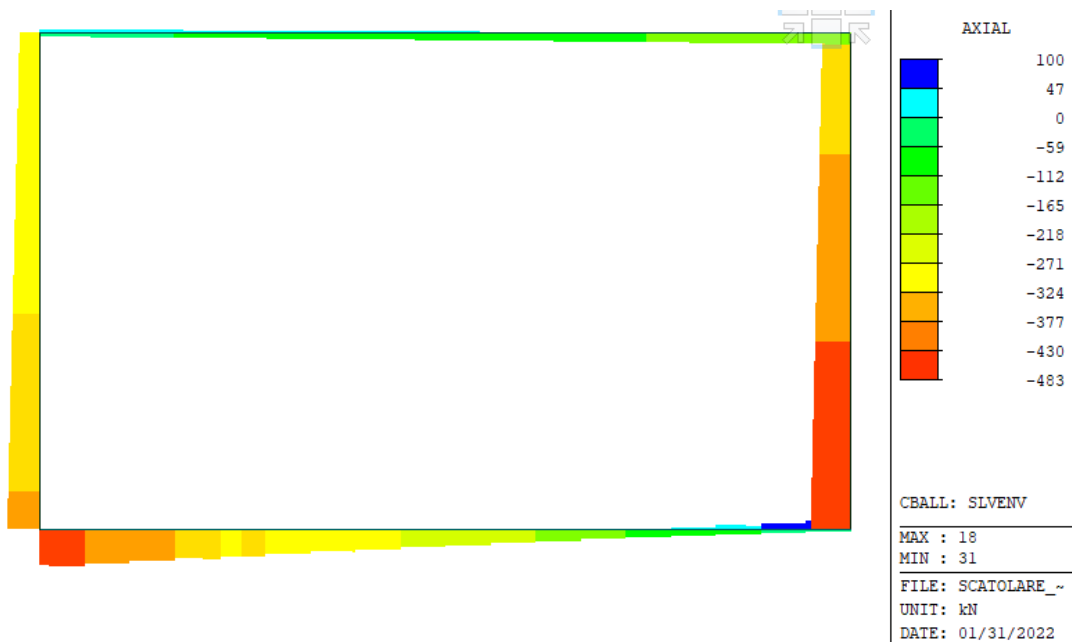


Figura 24 – Inviluppo Sforzo Normale SLV

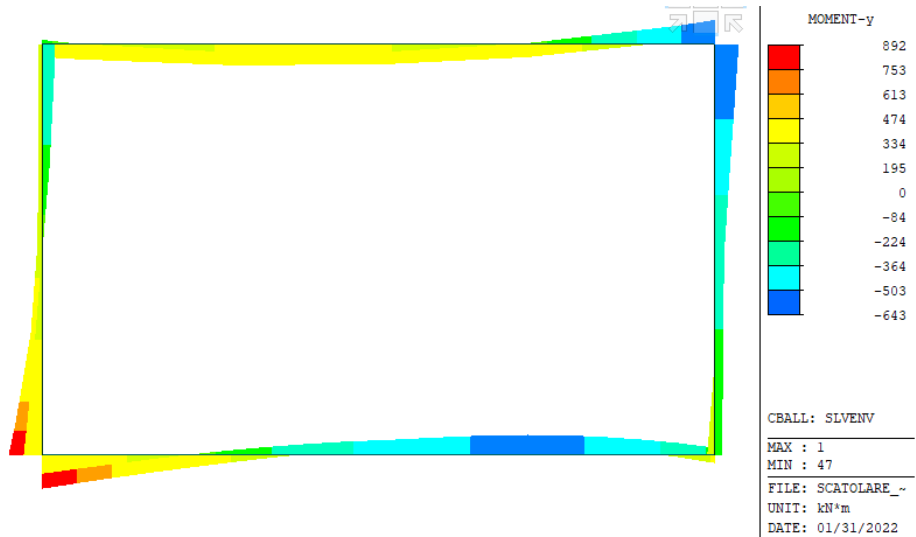


Figura 25 – Involuppo Momento Flettente SLV

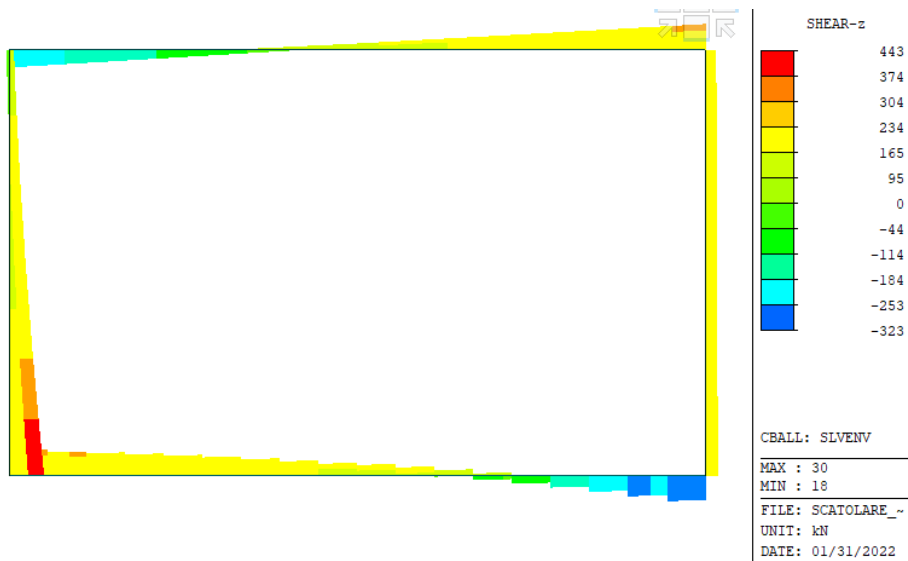


Figura 26 – Involuppo Taglio SLV

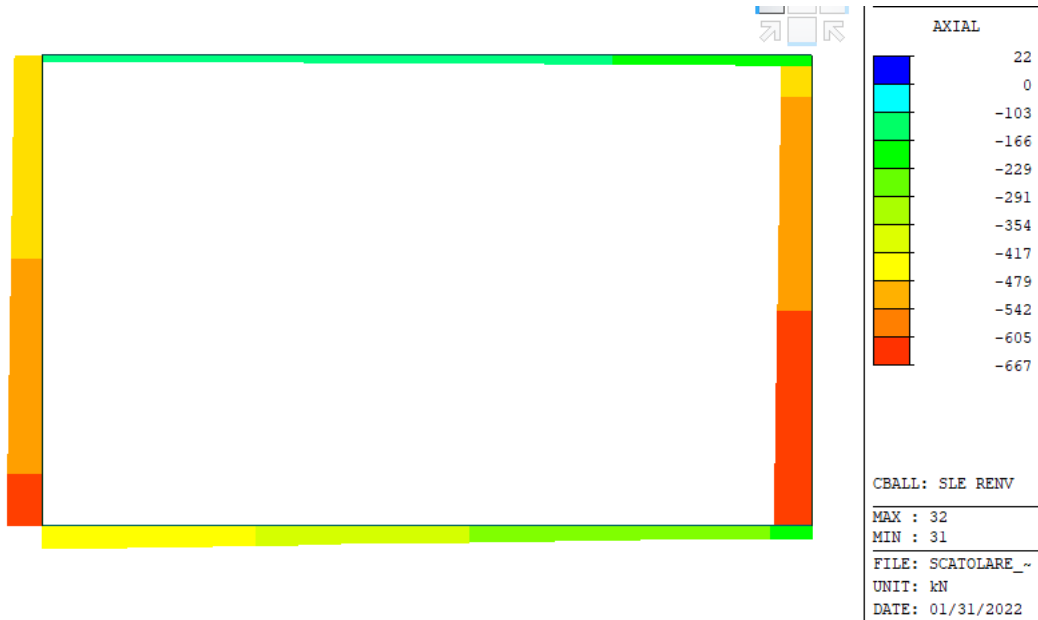


Figura 27 – Involupto Sforzo Normale SLE-R

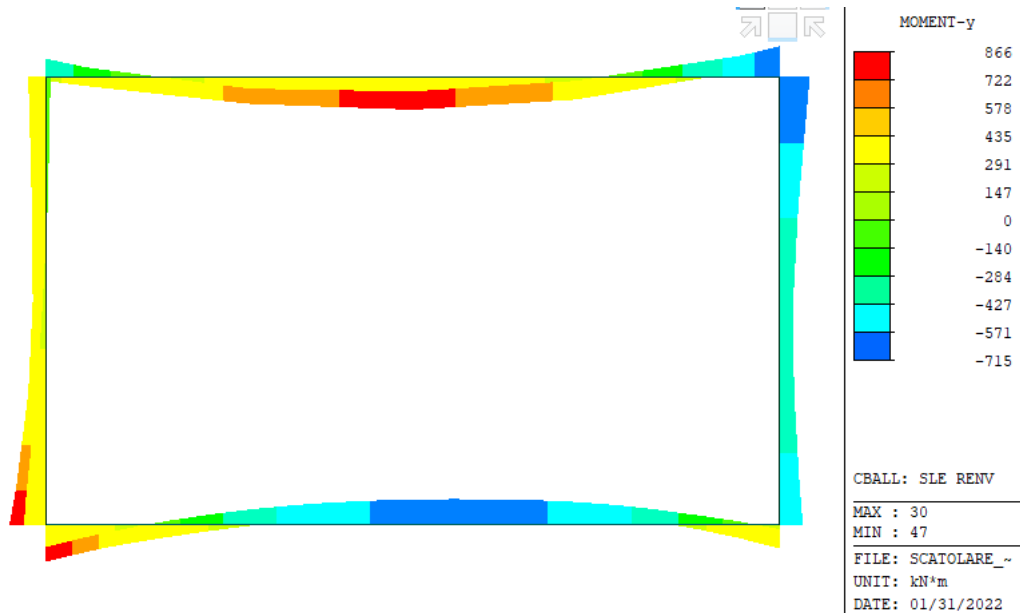


Figura 28 – Involupto Momento Flettente SLE-R

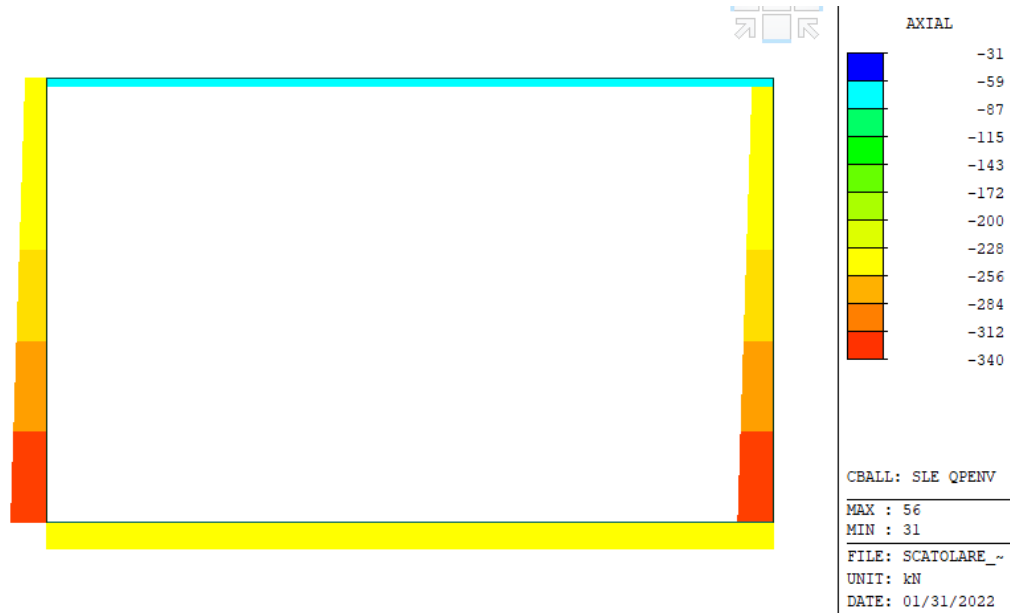


Figura 29 – Involuppo Sforzo Normale SLE-QP

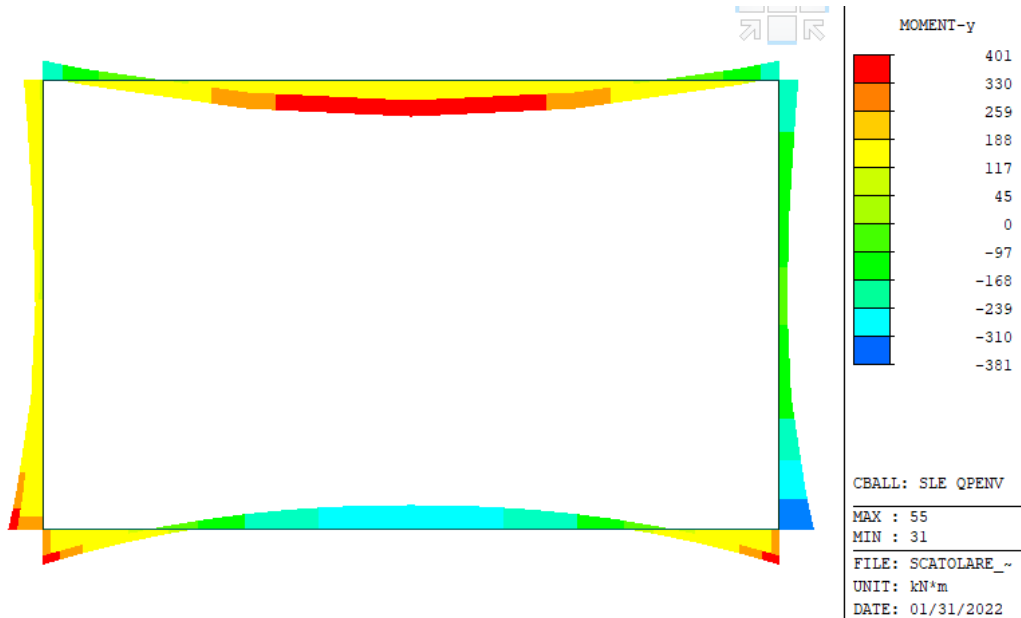


Figura 30 – Involuppo Momento Flettente SLE-QP

11.2 Riassunto delle sollecitazioni di progetto

S1	N	M	V	S2	N	M	V
	(kN)	(kNm)	(kN)		(kN)	(kNm)	(kN)
SLU	60	-462	-562	SLU	9	1104	88
	-23	-903	642		SLV	17	543
SLV	41	375	-196	SLE R		-25	786
	0	-563	300		SLE QP	-31	401
SLE R	17	227		S3		N	M
	-51	-485			(kN)	(kNm)	(kN)
SLE QP	-31	-120		SLU	-400	-586	-133
					SLV	-520	-1012
S3	N	M	V	SLE R		-154	328
	(kN)	(kNm)	(kN)		SLE QP	-265	-608
SLU	-400	-586	-133	S6		N	M
	-520	-1012	264		(kN)	(kNm)	(kN)
SLV	-154	328	77	SLU	-180	1127	693
	-265	-608	139		SLV	-67	617
SLE R	-295	-390		SLE R		-244	816
	-370	-624			SLE QP	99	-258
SLE QP	-215	-175		S7		N	M
					(kN)	(kNm)	(kN)
S5	N	M	V	SLU	-154	-863	182
	(kN)	(kNm)	(kN)		SLV	-105	-395
SLU	-484	-497	227	SLE R		-173	-594
	-604	-508	180		SLE QP	-195	-267
SLV	-215	-138	207				
	SLE R	-351	-313				
SLE QP		-426	-321				
		-271	-86				

11.3 ARMATURE DI PROGETTO

Nella tabella seguente si riportano le armature di progetto previste per le sezioni di calcolo in questione:

Elemento	Armatura a flessione	Armatura a taglio
PIEDRITTI	Armatura base 1+1Ø24/20 Aggiuntiva agli incastri 1Ø24/20 lato terreno	-
FONDAZIONE	Armatura base 1+1Ø24/20 Aggiuntiva all'incastro 1Ø24/20 inf. Aggiuntiva in campata 1Ø24/20 sup.	spilli 3Ø12/20
COPERTURA	Armatura base 1+1Ø26/20 Aggiuntiva all'incastro 1Ø26/20 sup. Aggiuntiva in campata 1Ø26/20 inf.	spilli 3Ø12/20

L'armatura a taglio indicata in tabella si estende per 2.5m a partire dal filo interno del piedritto. Nelle zone rimanenti delle solette e nei piedritti, invece, pur non essendo necessaria armatura specifica a taglio ai fini delle verifiche strutturali, si prevede comunque la disposizione di spilli 3Ø12/40cm.

11.4 VERIFICHE

11.4.1 Verifiche a pressoflessione e taglio

Il software RC-sec esegue le verifiche strutturali allo stato limite ultimo e di esercizio secondo i criteri esposti al §10. Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento ad un copriferro netto di 45mm. Si riportano di seguito i tabulati di calcolo per tutte le sezioni indicate al §10, considerando, ove necessario, entrambi i lati dello scatolare.

11.4.1.1 Sezione S1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80	MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	5Ø26	(26.5 cm ²)
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.8	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.8	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 55 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	-60.00	-462.00	562.00	0.00
2	23.00	-903.00	642.00	0.00
3	-41.00	375.00	196.00	0.00
4	0.00	-563.00	300.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	-17.00	227.00
2	51.00	-485.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	-17.00	227.00 (624.51)
2	51.00	-485.00 (-686.88)

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	31.00	-120.00 (-706.61)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 56 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	-60.00	-462.00			3.792	26.7	0.29	0.80	53.1 (16.7)
2	S	23.00	-903.00			1.947	27.2	0.29	0.80	53.1 (16.7)
3	S	-41.00	375.00			2.340	82.4	0.19	0.70	26.5 (16.7)
4	S	0.00	-563.00			3.108	27.0	0.29	0.80	53.1 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00078	0.0	0.00058	6.8	-0.00196	93.2
2	0.00081	0.0	0.00060	6.8	-0.00196	93.2
3	0.00046	100.0	0.00028	93.2	-0.00196	6.8
4	0.00080	0.0	0.00060	6.8	-0.00196	93.2

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

Diametro staffe/legature: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 22.6 cm]
N.Bracci staffe: 3
Area staffe/m : 17.0 cm²/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm²/m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
ASt Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	562.00	436.01	2718.88	1392.04	100.0 93.2	2.500	1.000	6.8
2	S	642.00	439.23	2722.21	1392.04	100.0 93.2	2.500	1.001	7.8
3	S	196.00	346.06	2718.88	1392.04	100.0 93.2	2.500	1.000	2.4
4	S	300.00	436.01	2718.88	1392.04	100.0 93.2	2.500	1.000	3.7

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 57 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.74	100.0	0.00	81.0	-101.8	93.2	17.0	1700	26.5	21.6
2	S	3.33	0.0	0.00	30.2	-104.5	6.8	17.0	1700	53.1	9.6

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

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00056	0.00013	0.50	0.60	0.000305 (0.000305)	470 0.144 (990.00)	624.51	
2	S	-0.00058	0.00025	0.50	0.60	0.000313 (0.000313)	329 0.103 (990.00)	-686.88	

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.74	100.0	0.00	81.0	-101.8	93.2	17.0	1700	26.5	21.6
2	S	3.33	0.0	0.00	30.2	-104.5	6.8	17.0	1700	53.1	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00056	0.00013	0.50	0.60	0.000305 (0.000305)	470 0.144 (0.20)	624.51	
2	S	-0.00058	0.00025	0.50	0.60	0.000313 (0.000313)	329 0.103 (0.20)	-686.88	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.85	0.0	0.00	32.0	-24.4	6.8	17.0	1700	53.1	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00014	0.00006	0.50	0.40	0.000073 (0.000073)	329 0.024 (0.20)	-706.61	

11.4.1.2 Sezione S2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	10Ø26	(53.1 cm ²)
Barre superiori:	5Ø26	(26.5 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.8	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.8	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	-9.00	1104.00	88.00	0.00
2	-17.00	543.00	80.00	0.00

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

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

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 59 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

N°Comb.	N	Mx
1	25.00	786.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	25.00	786.00 (677.82)

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	31.00	401.00 (683.41)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	-9.00	1104.00			1.583	73.0	0.29	0.80	53.1 (16.7)
2	S	-17.00	543.00			3.221	73.1	0.29	0.80	53.1 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 60 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00080	100.0	0.00060	93.2	-0.00196	6.8
2	0.00079	100.0	0.00059	93.2	-0.00196	6.8

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

Diametro staffe/legature: 12 mm
Passo staffe: 40.0 cm
N.Bracci staffe: 3
Area staffe/m : 8.5 cm²/m

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw/d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw/d	Ctg	Acw	Ast
1	S	88.00	436.01	2718.88	696.02	100.0 93.2	2.500	1.000	1.1
2	S	80.00	436.01	2718.88	696.02	100.0 93.2	2.500	1.000	1.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.35	100.0	0.00	70.6	-174.1	93.2	17.0	1700	53.1	9.6

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

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

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 61 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00096	0.00040	0.50	0.60	0.000522 (0.000522)	329	0.172 (990.00)	677.82

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.35	100.0	0.00	70.6	-174.1	93.2	17.0	1700	53.1	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00096	0.00040	0.50	0.60	0.000522 (0.000522)	329	0.172 (0.20)	677.82

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.75	100.0	0.00	70.1	-87.3	93.2	17.0	1700	53.1	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00048	0.00021	0.50	0.40	0.000262 (0.000262)	329	0.086 (0.20)	683.41

11.4.1.3 Sezione S3

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 62 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta 1 * \beta 2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm ²)
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	400.00	-586.00	133.00	0.00
2	520.00	-1012.00	264.00	0.00
3	154.00	328.00	77.00	0.00
4	265.00	-608.00	139.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	295.00	-390.00
2	370.00	-624.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
---------	---	----



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 63 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

1	295.00	-390.00	(-751.99)
2	370.00	-624.00	(-727.64)

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	215.00	-175.00 (-832.48)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1.6 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	400.00	-586.00			2.794	27.9	0.30	0.81	45.2 (16.7)
2	S	520.00	-1012.00			1.667	28.6	0.31	0.82	45.2 (16.7)
3	S	154.00	328.00			2.564	81.6	0.20	0.70	22.6 (16.7)
4	S	265.00	-608.00			2.620	27.1	0.29	0.80	45.2 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00083	0.0	0.00063	6.7	-0.00196	93.3
2	0.00087	0.0	0.00066	6.7	-0.00196	93.3
3	0.00048	100.0	0.00031	93.3	-0.00196	6.7
4	0.00080	0.0	0.00060	6.7	-0.00196	93.3



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 64 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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

Diametro staffe/legature:	12	mm
Passo staffe:	40.0	cm
N.Bracci staffe:	3	
Area staffe/m :	8.5	cm ² /m

VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw/d	Ctg	Acw	ASt
1	S	133.00	469.56	2779.71	696.77	100.0 93.3	2.500	1.021	1.6
2	S	264.00	486.36	2797.08	696.77	100.0 93.3	2.500	1.028	3.2
3	S	77.00	349.81	2744.09	696.77	100.0 93.3	2.500	1.008	0.9
4	S	139.00	450.67	2760.16	696.77	100.0 93.3	2.500	1.014	1.7

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

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

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.07	0.0	0.00	35.9	-74.2	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	4.84	0.0	0.00	33.8	-127.9	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00041	0.00023	0.50	0.60	0.000223 (0.000223)	338	0.075 (990.00)	-751.99
2	S	-0.00071	0.00036	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	338	0.130 (990.00)	-727.64

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 65 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.07	0.0	0.00	35.9	-74.2	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	4.84	0.0	0.00	33.8	-127.9	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00041	0.00023	0.50	0.60	0.000223 (0.000223)	338	0.075 (0.20)	-751.99
2	S	-0.00071	0.00036	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	338	0.130 (0.20)	-727.64

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.40	0.0	0.00	45.5	-26.1	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00015	0.00011	0.50	0.40	0.000078 (0.000078)	338	0.027 (0.20)	-832.48

11.4.1.4 Sezione S4
CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 66 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Resist. caratt. a rottura f_{tk} :	450.0	MPa
Resist. a snerv. di progetto f_{yd} :	391.3	MPa
Resist. ultima di progetto f_{td} :	391.3	MPa
Deform. ultima di progetto E_{pu} :	0.068	
Modulo Elastico E_f :	200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm ²)
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	M _x	V _y	MT
1	568.00	-1156.00	500.00	0.00
2	688.00	-707.00	234.00	0.00
3	276.00	-785.00	394.00	0.00
4	381.00	-213.00	156.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	M _x
1	407.00	-694.00
2	482.00	-472.00

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

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

N°Comb.	N	M _x
1	407.00	-694.00 (-726.70)
2	482.00	-472.00 (-795.10)

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
---	---	--



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 67 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	328.00	-286.00 (-817.34)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	2.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	1.6	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	568.00	-1156.00			1.476	28.9	0.31	0.83	45.2 (16.7)
2	S	688.00	-707.00			2.455	29.6	0.32	0.84	45.2 (16.7)
3	S	276.00	-785.00			2.038	27.1	0.29	0.80	45.2 (16.7)
4	S	381.00	-213.00			7.507	27.8	0.30	0.81	45.2 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00088	0.0	0.00067	6.7	-0.00196	93.3
2	0.00091	0.0	0.00070	6.7	-0.00196	93.3
3	0.00080	0.0	0.00060	6.7	-0.00196	93.3
4	0.00083	0.0	0.00063	6.7	-0.00196	93.3

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

Diametro staffe/legature:	12	mm
Passo staffe:	40.0	cm
N.Bracci staffe:	3	
Area staffe/m :	8.5	cm ² /m

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 68 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	Ast
1	S	500.00	493.07	2804.03	696.77	100.0 93.3	2.500	1.030	6.1
2	S	234.00	509.87	2821.40	696.77	100.0 93.3	2.500	1.037	2.8
3	S	394.00	452.21	2761.75	696.77	100.0 93.3	2.500	1.015	4.8
4	N	156.00	466.90	2776.96	696.77	100.0 93.3	2.500	1.020	1.9

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

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

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.38	0.0	0.00	33.7	-142.6	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	3.77	0.0	0.00	43.0	-78.5	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00079	0.00040	0.50	0.60	0.000428 (0.000428)	338	0.145 (990.00)	-726.70
2	S	-0.00044	0.00028	0.50	0.60	0.000235 (0.000235)	338	0.080 (990.00)	-795.10

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.38	0.0	0.00	33.7	-142.6	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 69 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

2 S 3.77 0.0 0.00 43.0 -78.5 6.7 16.8 1675 45.2 9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00079	0.00040	0.50	0.60	0.000428 (0.000428)	338	0.145 (0.20)	-726.70
2	S	-0.00044	0.00028	0.50	0.60	0.000235 (0.000235)	338	0.080 (0.20)	-795.10

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.29	0.0	0.00	44.5	-44.6	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00025	0.00017	0.50	0.40	0.000134 (0.000134)	338	0.045 (0.20)	-817.34

11.4.1.5 Sezione S5

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 70 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Resist. caratt. a rottura f_{tk} :	450.0	MPa
Resist. a snerv. di progetto f_{yd} :	391.3	MPa
Resist. ultima di progetto f_{td} :	391.3	MPa
Deform. ultima di progetto E_{pu} :	0.068	
Modulo Elastico E_f :	200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm ²)
Barre superiori:	5Ø24	(22.6 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	M _x	V _y	MT
1	484.00	-497.00	227.00	0.00
2	604.00	-508.00	180.00	0.00
3	215.00	-138.00	207.00	0.00
4	323.00	-265.00	147.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	M _x
1	351.00	-313.00
2	426.00	-321.00

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

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

N°Comb.	N	M _x
1	351.00	-313.00 (-746.06)
2	426.00	-321.00 (-782.33)

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
---	---	--

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 71 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	271.00	-86.00 (-1375.10)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.6 cm
Copriferro netto minimo staffe: 2.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	484.00	-497.00			1.940	22.4	0.24	0.74	22.6 (16.7)
2	S	604.00	-508.00			1.990	23.4	0.25	0.75	22.6 (16.7)
3	S	215.00	-138.00			6.215	20.2	0.22	0.71	22.6 (16.7)
4	S	323.00	-265.00			3.399	21.1	0.23	0.72	22.6 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00062	0.0	0.00043	6.7	-0.00196	93.3
2	0.00065	0.0	0.00047	6.7	-0.00196	93.3
3	0.00054	0.0	0.00036	6.7	-0.00196	93.3
4	0.00057	0.0	0.00039	6.7	-0.00196	93.3

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

Diametro staffe/legature: 8 mm
Passo staffe: 16.7 cm [Passo massimo di normativa = 16.8 cm]
N.Bracci staffe: 5
Area staffe/m : 15.0 cm²/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm²/m]

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 72 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw/d	Ctg	Acw	Ast
1	S	227.00	396.00	2791.87	1236.22	100.0 93.3	2.500	1.026	2.8
2	S	180.00	412.79	2809.24	1236.22	100.0 93.3	2.500	1.032	2.2
3	S	207.00	358.35	2752.92	1236.22	100.0 93.3	2.500	1.011	2.5
4	S	147.00	373.46	2768.56	1236.22	100.0 93.3	2.500	1.017	1.8

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

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

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.05	0.0	0.00	31.2	-91.2	6.7	16.8	1675	22.6	21.7
2	S	3.11	0.0	0.00	33.9	-82.0	6.7	16.8	1675	22.6	21.7

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

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00051	0.00023	0.50	0.60	0.000274 (0.000274)	489	0.134 (990.00)	-746.06
2	S	-0.00046	0.00023	0.50	0.60	0.000246 (0.000246)	489	0.120 (990.00)	-782.33

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.05	0.0	0.00	31.2	-91.2	6.7	16.8	1675	22.6	21.7
2	S	3.11	0.0	0.00	33.9	-82.0	6.7	16.8	1675	22.6	21.7



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 73 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00051	0.00023	0.50	0.60	0.000274 (0.000274)	489	0.134 (0.20)	-746.06
2	S	-0.00046	0.00023	0.50	0.60	0.000246 (0.000246)	489	0.120 (0.20)	-782.33

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.76	0.0	0.00	68.9	-4.5	6.7	11.0	1099	22.6	21.7

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00003	0.00006	0.50	0.40	0.000014 (0.000014)	385	0.005 (0.20)	-1375.10

11.4.1.6 Sezione S6

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50

Comb.Rare - Sf Limite: 360.0 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	10Ø24	(45.2 cm ²)
Barre superiori:	5Ø24	(22.6 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	180.00	1127.00	693.00	0.00
2	67.00	617.00	698.00	0.00
3	244.00	816.00	332.00	0.00
4	-112.00	-258.00	323.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	195.00	636.00
2	112.00	312.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	195.00	636.00 (688.57)
2	112.00	312.00 (695.40)

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	196.00	254.00 (754.35)

RISULTATI DEL CALCOLO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 75 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1.6 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	180.00	1127.00			1.391	73.5	0.28	0.80	45.2 (16.7)
2	S	67.00	617.00			2.472	74.2	0.28	0.79	45.2 (16.7)
3	S	244.00	816.00			1.947	73.1	0.29	0.80	45.2 (16.7)
4	S	-112.00	-258.00			2.704	15.9	0.17	0.70	22.6 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00078	100.0	0.00058	93.3	-0.00196	6.7
2	0.00075	100.0	0.00055	93.3	-0.00196	6.7
3	0.00079	100.0	0.00060	93.3	-0.00196	6.7
4	0.00040	0.0	0.00023	6.7	-0.00196	93.3

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

Diametro staffe/legature: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 22.6 cm]
N.Bracci staffe: 3
Area staffe/m : 17.0 cm²/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm²/m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 76 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	693.00	438.77	2747.86	1393.53	100.0 93.3	2.500	1.010	8.4
2	S	698.00	422.96	2731.50	1393.53	100.0 93.3	2.500	1.004	8.5
3	S	332.00	447.73	2757.12	1393.53	100.0 93.3	2.500	1.013	4.0
4	S	323.00	332.95	2721.80	1393.53	100.0 93.3	2.500	1.000	3.9

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.80	100.0	0.00	69.4	-147.4	93.3	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	2.37	100.0	0.00	68.8	-70.7	93.3	16.8	1675	45.2	9.6

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

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00082	0.00036	0.50	0.60	0.000442 (0.000442)	338 0.149 (990.00)	688.57	
2	S	-0.00039	0.00018	0.50	0.60	0.000212 (0.000212)	338 0.072 (990.00)	695.40	

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.80	100.0	0.00	69.4	-147.4	93.3	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	2.37	100.0	0.00	68.8	-70.7	93.3	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00082	0.00036	0.50	0.60	0.000442 (0.000442)	338 0.149 (0.20)	688.57	
2	S	-0.00039	0.00018	0.50	0.60	0.000212 (0.000212)	338 0.072 (0.20)	695.40	



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 77 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.00	100.0	0.00	64.1	-48.0	93.3	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00027	0.00015	0.50	0.40	0.000144 (0.000144)	338	0.049 (0.20)	754.35

11.4.1.7 Sezione S7

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 78 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Base:	100.0	cm
Altezza:	100.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm ²)
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	154.00	-863.00	182.00	0.00
2	105.00	-395.00	167.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	173.00	-594.00

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	173.00	-594.00 (-686.59)

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	195.00	-267.00 (-748.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	2.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	1.6	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 79 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re,Mx re) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	154.00	-863.00			1.805	26.4	0.28	0.79	45.2 (16.7)
2	S	105.00	-395.00			3.888	26.0	0.28	0.79	45.2 (16.7)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00077	0.0	0.00057	6.7	-0.00196	93.3
2	0.00076	0.0	0.00056	6.7	-0.00196	93.3

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

Diametro staffe/legature:	12	mm
Passo staffe:	40.0	cm
N.Bracci staffe:	3	
Area staffe/m :	8.5	cm ² /m

VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	182.00	435.13	2744.09	696.77	100.0 93.3	2.500	1.008	2.2
2	S	167.00	428.28	2737.00	696.77	100.0 93.3	2.500	1.006	2.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA
PROGETTO DEFINITIVO

IN25 – Sistemazione idraulica Rio Castellaro Relazione di calcolo scatolare ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 2500 001	REV. A	FOGLIO 80 di 88
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.47	0.0	0.00	30.5	-138.5	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00077	0.00034	0.50	0.60	0.000415 (0.000415)	338 0.140 (990.00)		-686.59

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.47	0.0	0.00	30.5	-138.5	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00077	0.00034	0.50	0.60	0.000415 (0.000415)	338 0.140 (0.20)		-686.59

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.10	0.0	0.00	35.6	-51.4	6.7	16.8	1675	45.2	9.6

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00029	0.00016	0.50	0.40	0.000154 (0.000154)	338 0.052 (0.20)		-748.00

11.4.2 Verifiche di deformabilità

Di seguito si riporta la verifica di deformabilità per stato limite di comfort (paragrafo 5.2.3.3.2.1 MdP RFI) per la quale è necessario rispettare il rapporto $\delta/L < 1/1000$ per effetto dei carichi ferroviari LM71.

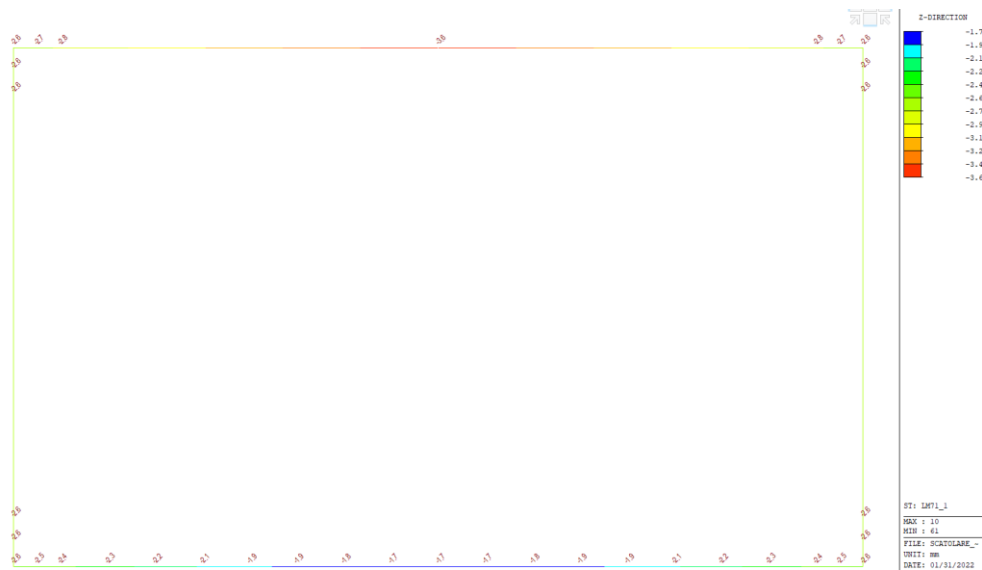


Figura 31: Deformata del modello per il carico LM71

Per lo scatolare in esame (L=9m) il valore della freccia è calcolato come segue:

Dz all'estremità della soletta –2.6mm

Freccia – mezzeria della soletta – 3.6mm

$f = 3.6 - 2.6 = 1.0\text{mm} < 9000/1000 = 9.0\text{mm}$

A seguire viene riportata la verifica dello sghembo.

Senza procedere al calcolo diretto, si adottano le seguenti considerazioni cautelative.

Anche assumendo che una rotaia abbia la freccia massima, mentre la seconda rotaia rimanga indeformata, lo sghembo vale:

$t = f/(L/2) = 1.0/(9.0/2) = 0.222\text{mm/m}$

Il valore limite di confronto è (MdP Ponti e strutture - §5.2.3.2.2.1):

$t = 4,50 \text{ mm}/3,00 \text{ m} = 1,5\text{mm/m}$ per $V \leq 120 \text{ km/h}$

$t = 3,00 \text{ mm}/3,00 \text{ m} = 1,0\text{mm/m}$ per $120 < V \leq 200 \text{ km/h}$

Il limite risulta ampiamente rispettato.

11.4.3 Verifiche geotecniche: verifica a carico limite

Il terreno di fondazione deve essere in grado di sopportare il carico che gli viene trasmesso dalle strutture sovrastanti senza che si verifichi rottura e senza che i cedimenti della struttura siano eccessivi.

La verifica a carico limite è eseguita in automatico dal software di calcolo attraverso l'utilizzo di una formula trinomia. Come è noto, in letteratura esistono diverse formule che si differenziano tra loro per l'introduzione di fattori correttivi per tener conto della profondità della fondazione, dell'eccentricità ed inclinazione del carico, ecc.

Nel caso in esame, si sono utilizzate le espressioni dei coefficienti proposti da Brinch-Hansen (1970). Si riportano qui di seguito i risultati ottenuti per la combinazione di carico più gravosa.

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = M_b/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = M_l/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

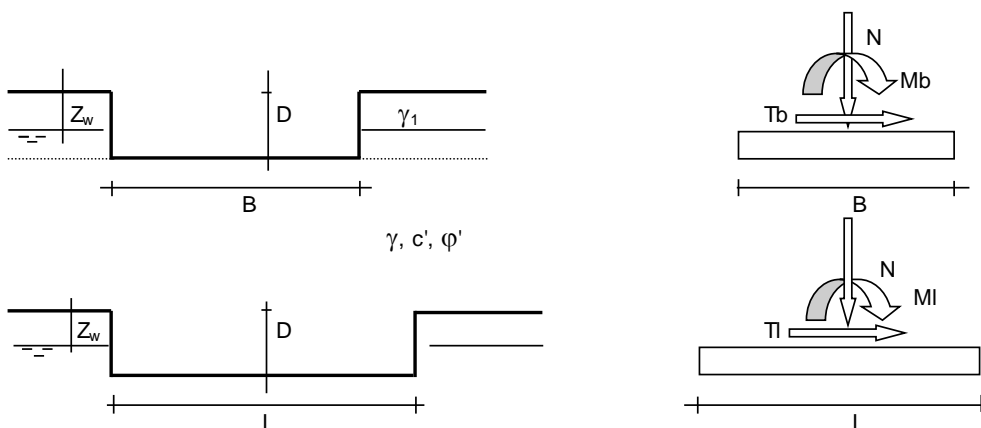
B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

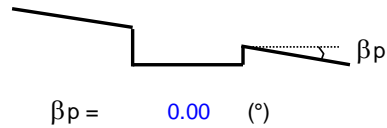
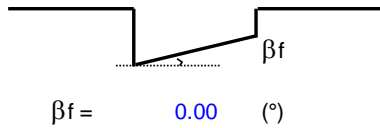
coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze			
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'	q_{lim}	scorr		
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	
Definiti dal Progettista	●	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	



(Per fondazione nastriforme $L = 100$ m)

B = 10.30 (m)
L = 100.00 (m)
D = 7.50 (m)



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	1966.15		1966.15
Mb [kNm]	1615.04		1615.04
MI [kNm]			0.00
Tb [kN]	0.00		0.00
Ti [kN]	0.00		0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 19.50 \text{ (kN/mc)}$
 $\gamma = 19.50 \text{ (kN/mc)}$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 0.00 \text{ (kN/mq)}$
 $\phi' = 34.00 \text{ (}^\circ\text{)}$

Valori di progetto

$c' = 0.00 \text{ (kN/mq)}$
 $\phi' = 34.00 \text{ (}^\circ\text{)}$

Profondità della falda

$Z_w = 3.50 \text{ (m)}$
 $e_B = 0.82 \text{ (m)}$
 $e_L = 0.00 \text{ (m)}$

$B^* = 8.66 \text{ (m)}$
 $L^* = 1.00 \text{ (m)}$

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 106.25 \text{ (kN/mq)}$

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$\gamma = 9.50 \text{ (kN/mc)}$

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$N_q = \tan^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \phi')}$

$N_q = 29.44$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$

$N_c = 42.16$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$

$N_\gamma = 41.06$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L^* \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L^*$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_\gamma = 1.00$$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

($m=2$ nel caso di fondazione nastriforme e
 $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$ in tutti gli altri casi)

$$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cotg \varphi'))^m$$

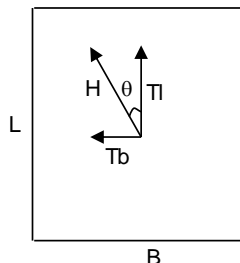
$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 1.00$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

per $D/B^* \leq 1$; $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi)^2 / B^*$

per $D/B^* > 1$; $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi)^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1.38$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.39$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 4502.30 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 227.11 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 4502.3 \geq q = 227.11 \quad (\text{kN/m}^2)$$

11.4.4 Verifiche di equilibrio (EQU): verifica a galleggiamento

Come descritto nella parte introduttiva, la struttura interagisce con la falda, pertanto, è necessario verificare che la sottospinta idrostatica dell'acqua non superi il peso della struttura. Si fa riferimento ai coefficienti riportati nella tabella 6.2.I delle NTC2018 (EQU), per cui i carichi permanenti favorevoli (peso della struttura e ricoprimento) sono moltiplicati per $\gamma_{G1,fav} = 0.9$ e $\gamma_{G2,fav} = 0.8$ mentre i carichi sfavorevoli (sottospinta dell'acqua) sono moltiplicati per $\gamma_{G1,sfav} = 1.1$. Cautelativamente si trascura il peso del rivestimento interno dei muri a U.

Si calcolano le forze stabilizzanti per un metro lineare di struttura:

$$G_{1,stab} = \gamma_{cis} \cdot [2 \cdot S_p \cdot H_{int} + S_s \cdot L_{tot} + S_f \cdot (L_{tot} + 0.3m)] =$$

$$= 25 \cdot [2 \cdot 1.0 \cdot 4.5 + 1.0 \cdot 10.0 + 1.0 \cdot (10.0 + 0.3)] = 732 \text{ kN}$$

$$G_{2,stab} = q_{bal} \cdot L_{tot} = 18 \cdot 10.0 = 180 \text{ kN}$$

La spinta instabilizzante risulta:

$$S_w = h_w \cdot \gamma_w \cdot (L_{tot} + 0.3m) = 4.0 \cdot 10 \cdot (10.0 + 0.3) = 412 \text{ kN}$$

Verifica:

$$FS = (\gamma_{G1,fav} \cdot G_{1,stab} + \gamma_{G2,fav} \cdot G_{2,stab}) / \gamma_{G1,sfav} \cdot S_w = 1.77 > 1.0$$

La verifica è soddisfatta.

12 RIEPILOGO ARMATURE E CALCOLO DELLE INCIDENZE

Elemento	Sezione	Armatura principale	Armatura secondaria	Armatura a taglio	Incidenza
Soletta superiore	Nodo	1Ø26/10cm sup. 1Ø26/20cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/20x40	120kg/m ³
	Campata	1Ø26/20cm sup. 1Ø26/10cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	
Piedritti	Nodo	1Ø24/10cm ext. 1Ø24/20cm int.	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	100kg/m ³
	Campata	1+1Ø24/20cm	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	
Soletta inferiore	Nodo	1Ø24/20cm sup. 1Ø24/10cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/20x40	110kg/m ³
	Campata	1Ø24/10cm sup. 1Ø24/20cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	