

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA

### OPERE CIVILI

### IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe


### Relazione di calcolo scatolare stradale

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L I N 3 2 0 0 0 0 2 A

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

File: IV0100D26CLIN3200002A.docx

n. Elab.

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>10</b>
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
<b>5</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>CODICE DI CALCOLO .....</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>14</b>
7.1	MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA.....	16
<b>8</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>17</b>
8.1	PESO PROPRIO .....	17
8.2	SPINTA DEL TERRENO .....	17
8.3	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI .....	19
	8.3.1 Ricoprimento.....	19
8.4	CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO STRADALE.....	19
	8.4.1 Carichi stradali .....	19
	8.4.2 Frenamento e accelerazione .....	22
8.5	AZIONI TERMICHE .....	22
8.6	RITIRO .....	22
8.7	AZIONI SISMICHE.....	23
	8.7.1 Pericolosità sismica .....	24

8.7.2	Sovraspinta sismica del terreno .....	27
8.7.3	Forze inerziali dovute ai carichi permanenti sulla soletta superiore .....	28
<b>9</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>38</b>
10.1	VERIFICHE ALLO SLU .....	39
10.1.1	Pressoflessione .....	39
10.1.2	Taglio .....	40
10.2	VERIFICHE AGLI SLE.....	41
10.2.1	Verifiche alle tensioni.....	41
10.2.2	Verifiche a fessurazione .....	41
<b>11</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DELLO SCATOLARE .....</b>	<b>43</b>
11.1	INVILUPPO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE .....	43
11.2	Riassunto delle sollecitazioni di progetto .....	49
11.3	ARMATURE DI PROGETTO.....	50
11.4	VERIFICHE.....	51
11.4.1	Verifiche a pressoflessione e taglio .....	51
11.4.2	Verifiche geotecniche: verifica a carico limite.....	77
<b>12</b>	<b>RIEPILOGO ARMATURE E CALCOLO DELLE INCIDENZE .....</b>	<b>82</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale dell'opera scatolare per attraversamento stradale del Rio delle Cioppe al di sotto della SP3 nel comune di Albenga (SV). L'opera, denominata IN32, è realizzata nell'ambito dell'adeguamento della viabilità interferente con il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia nella tratta Finale Ligure - Andora.

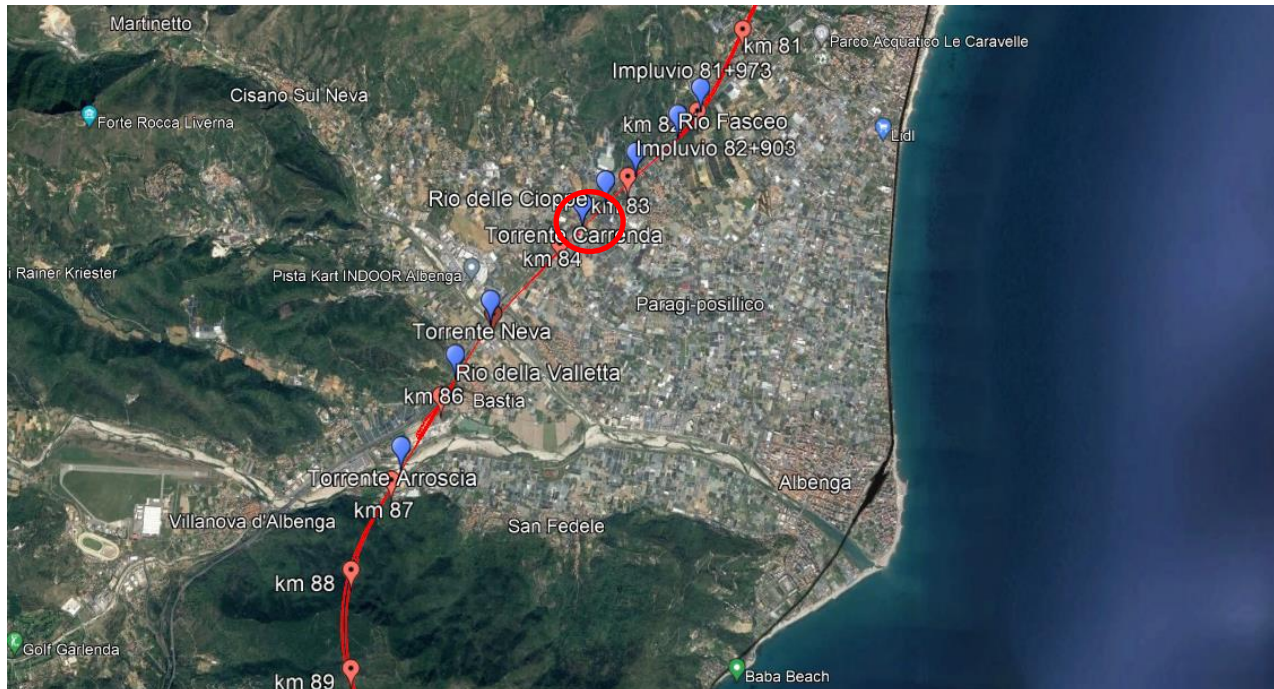


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

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

$S_{SUP}= 0.80m$	spessore del solettone di copertura
$S_{INF}= 0.80m$	spessore del solettone di fondazione
$S_1=S_2= 0.80m$	spessore dei piedritti
$L_e= 10.60$	larghezza totale scatolare
$L_i= 9.00m$	larghezza netta scatolare
$H_e= 5.90m$	altezza totale scatolare
$H_i= 4.30m$	altezza netta scatolare

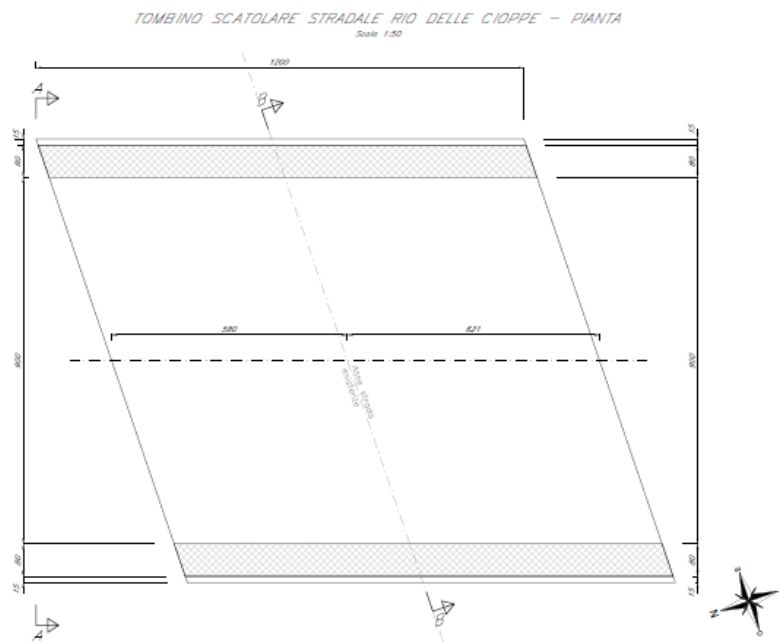


Figura 2 – Vista in pianta del tombino

TOMBINO SCATOLARE STRADALE RIO DELLE CIOPPE – SEZIONE LONGITUDINALE  
 Scale 1:50

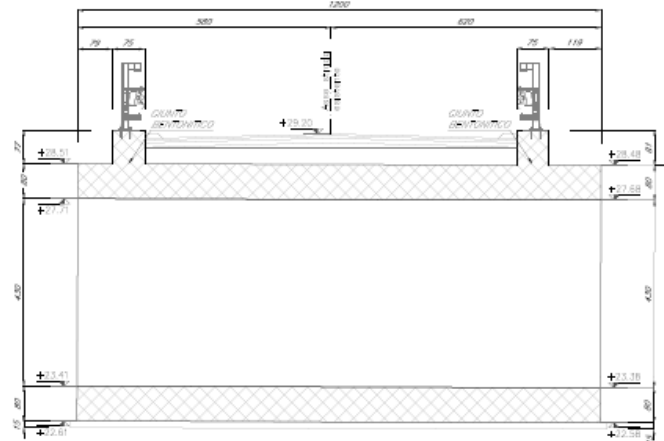


Figura 3 – Profilo longitudinale in asse al tombino

TOMBINO SCATOLARE STRADALE RIO DELLE CIOPPE – VISTA A-A  
 Scale 1:50

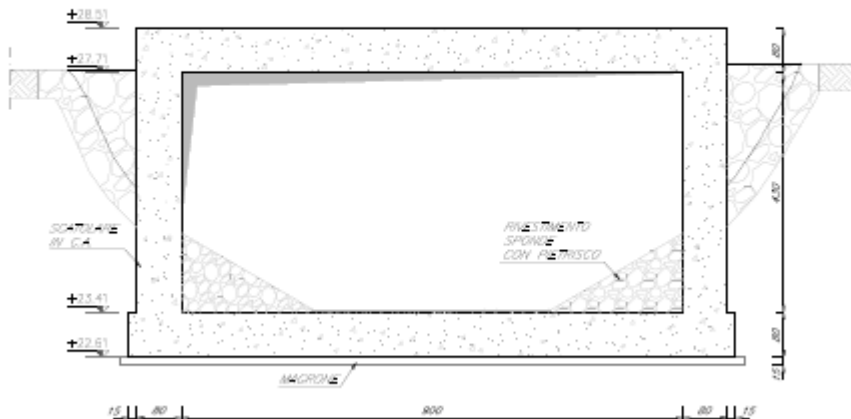


Figura 4 – Sezione trasversale del tombino

### 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 1992-2 “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 <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
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.	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	E
-	-	m pc	kN/mc	°	kPa	kPa	MPa
1	Terreno di riporto	0-0,5	19	24	0	-	5
2	Sabbia limosa ghiaiosa	0,5-10	20	32	0	-	30

Si assume che lo strato di terreno di riporto, a seguito degli scavi necessari alla realizzazione del manufatto ed alla creazione della sede ferroviaria, venga completamente asportato e sostituito con materiale di caratteristiche più idonee all'utilizzo. Si fa quindi riferimento all'unità **2** come unità geotecnica di riferimento sia per il terreno di rinfiacco che per il terreno di fondazione.

Dalle indagini geotecniche è stata desunta una quota di falda posta circa a profondità media superiore ai 10 metri da p.c., per cui può ritenersi non interferente con l'opera in esame.

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  $V_{s,30} = 404\text{m/s}$ . Il terreno di fondazione rientra quindi in categoria stratigrafica B.

Prova	$V_s(\text{eq})$	Suolo
MASW 11	404	B

Nel software di calcolo, per simulare il comportamento del terreno di fondazione e di rinfiacco, 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:

$$K = \frac{0.65E}{1-\nu^2} \sqrt[3]{\frac{Eb^4}{(EJ)_{fond}}}$$

Essendo:

E = modulo elastico del terreno

$\nu$  = coefficiente di poisson del terreno

$b$  = larghezza della fondazione

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

E_terr	30	MPa
$\nu$	0.25	-
h_fond	0.8	m
b_fond	1	m
Jfond	0.042667	m <sup>4</sup>
fck	32	MPa
E_fond	33345.76	MPa
K	15079.81	kN/m <sup>3</sup>

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_w = 15000 \text{ kN/m}^3$ , 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	$L_{tot}$	10.60	m
Larghezza utile	$L_{int}$	9.00	m
Larghezza di calcolo	L	9.80	m
Spessore soletta superiore	$S_s$	0.80	m
Spessore piedritti	$S_p$	0.80	m
Spessore fondazione	$S_f$	0.80	m
Altezza totale	$H_{tot}$	5.90	m
Altezza libera	$H_{int}$	4.30	m
Altezza di calcolo	H	5.10	m
Spessore rinterro superiore	$H_r$	0.70	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.

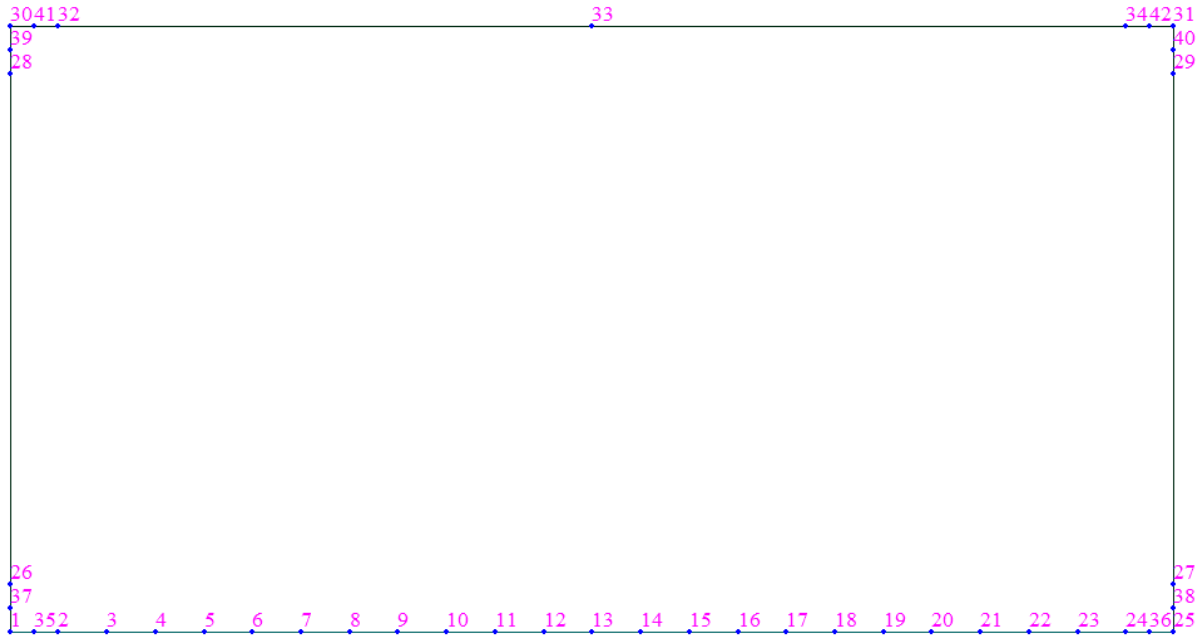


Figura 5: Numerazione dei nodi nel modello strutturale

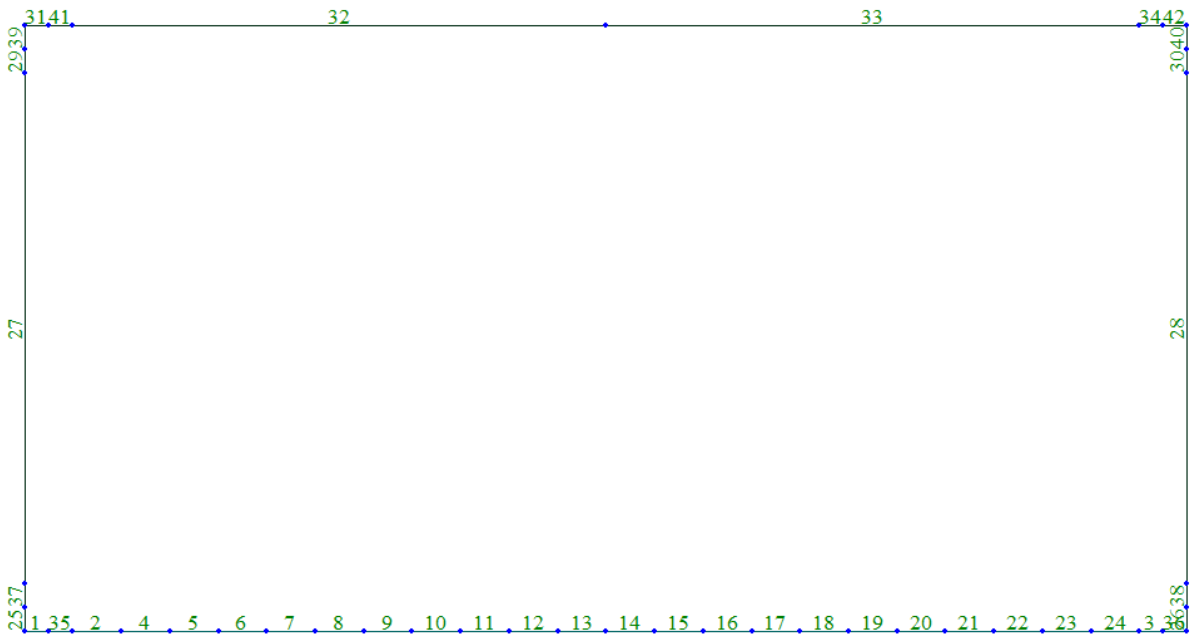


Figura 6: Numerazione dei frame nel modello strutturale

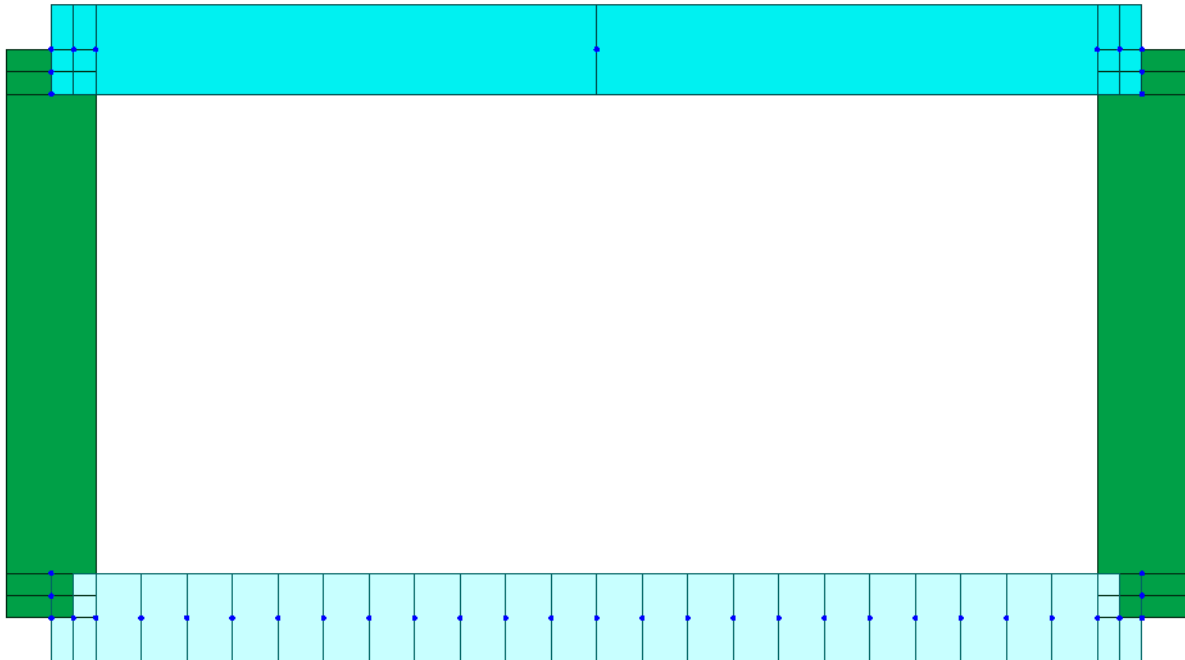


Figura 7: Vista del modello strutturale con spessore degli elementi

## 7.1 MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_s = 15000 \text{ kN/m}^3$ , in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

La soletta inferiore viene suddivisa in 24 segmenti di pari lunghezza, ossia 25 nodi (numerazione da 1 a 25) ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello ( $B=1,0\text{m}$ ), si ha:

Molla centrale

$$K_{13} = K_s \cdot (S_p/2 + L_{int} + S_p/2) / 24 = 6125 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_{25} = 2 \cdot K_s \cdot [(S_p/2 + L_{int} + S_p/2) / 24 / 2 + (S_p/2)] = 18125 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 2÷24 (eccetto il nodo 13) come da letteratura si assumono:

$$K_{2÷24} = 1.5 \cdot K_{13} = 9188 \text{ kN/m}$$



## 8 ANALISI DEI CARICHI

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

### 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 ( $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$ ).

### 8.2 SPINTA DEL TERRENO

Si considera una spinta trapezoidale distribuita sui piedritti assumendo angolo di attrito  $\varphi = 34^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma_r = 20 \text{ kN/m}^3$  sia per il terreno di ricoprimento che per il rinfilo. Il coefficiente di spinta a riposo viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi' = 0.470$$

Perciò le spinte del terreno sulla parete verticale sono le seguenti:

Cond. STR			
$p_1 =$	6.6	kN/m	Pressione estradosso soletta superiore
$p_2 =$	10.3	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
$p_3 =$	58.3	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
$p_4 =$	62.0	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, 25				
Nodi sup.	$1/2 * (p_1 + p_2) * S_s/2$	3.4	kN	Spinta semispessore soletta superiore
Nodi inf.	$1/2 * (p_3 + p_4) * S_f/2$	24.1	kN	Spinta semispessore soletta inferiore

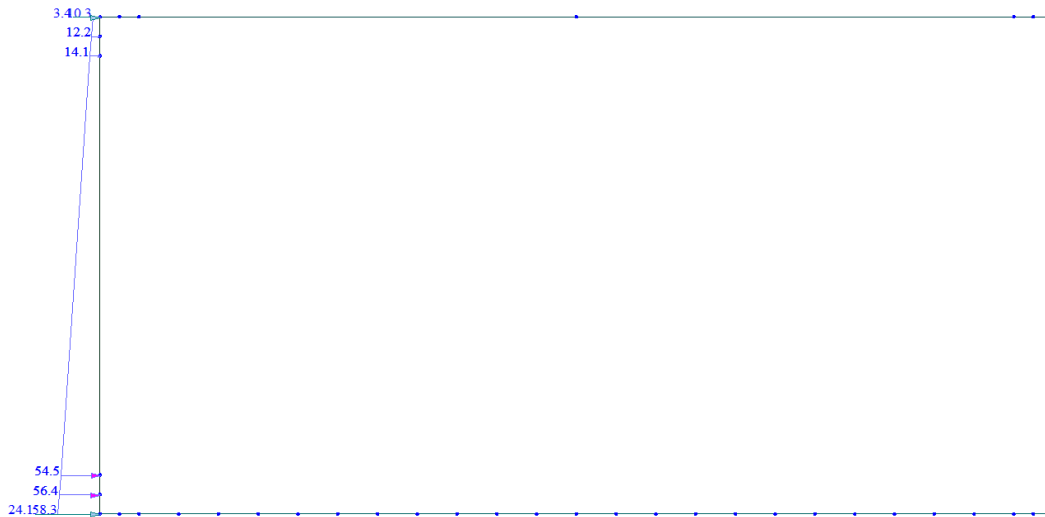


Figura 8: Spinte del terreno

#### Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda 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:

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

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  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.

Nel caso in esame, la falda non risulta interagente per cui tale azione non è stata considerata.

### 8.3 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

#### 8.3.1 Ricoprimento

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ricoprimento  $H_r=0.7\text{m}$  con peso di unità di volume  $\gamma_r = 20\text{kN/m}^3$ . Il carico uniformemente distribuito verticale agente sulla soletta superiore corrisponde a  $g_2 = 14\text{kN/m}$  ed in corrispondenza dei nodi 30 e 31, la parte di carico del ballast verticale esercitata su 1/2 spessore dei piedritti è pari a  $5.6\text{kN}$ .

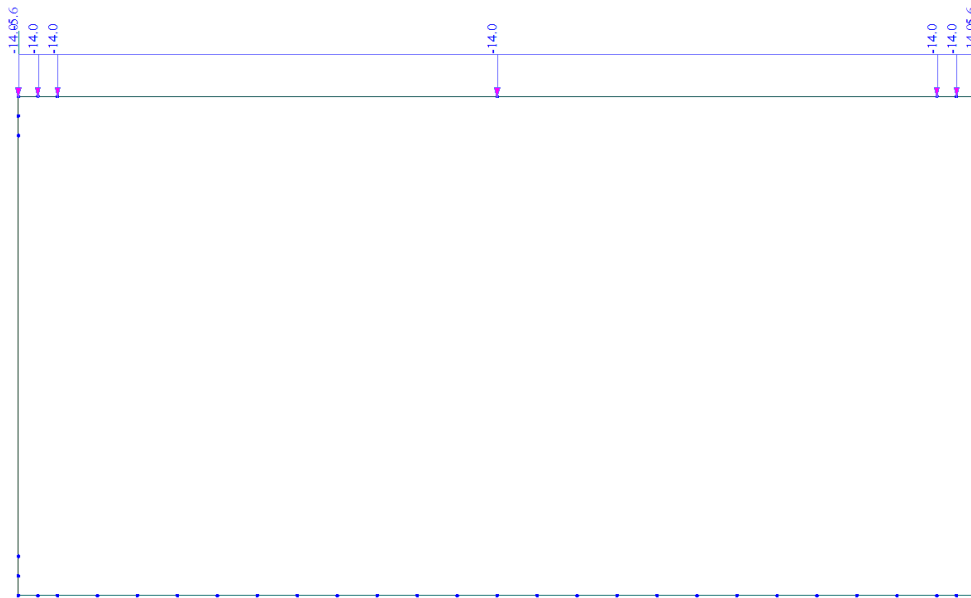


Figura 9: Carichi sulla soletta superiore

### 8.4 CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO STRADALE

Nell'ambito dello scatolare stradale, si è fatto riferimento al D.M. 17/01/2018 (§5.1).

#### 8.4.1 Carichi stradali

Il carico stradale considerato è il modello 1, in particolare, si fa riferimento alla corsia convenzionale n.1.

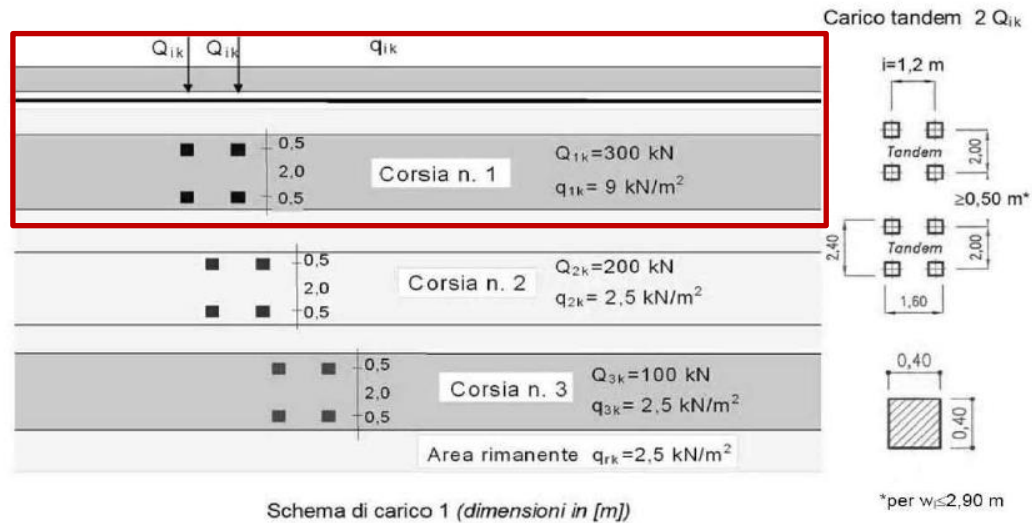


Figura 10: Modello di carico 1

Si considera che i sovraccarichi si distribuiscono attraverso il ricoprimento con a 45° all'interno del CLS e del ricoprimento.

Diffusione del carico in senso trasversale		
$L_d = L_t + [H_r + S_s/2] * 2$	4.6	m
Diffusione del carico in senso longitudinale		
$L_l = L_i + [H_r + S_s/2] * 2$	3.8	m

Dove:  $L_t = 2.4$ m indica la larghezza totale di un tandem

$L_i = 1.6$ m indica la lunghezza totale di un tandem

$H_r = 0.7$ m

$S_s = 0.8$ m.

Pertanto, il carico ripartito, dovuto alla corsia di carico n.1 risulta:

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate		
$Q_{vk} = (4 * 150) / (L_d * L_l)$	34.3	kN/m <sup>2</sup>
Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		
$q_{vk} = (3 * 9) / L_d$	5.9	kN/m <sup>2</sup>

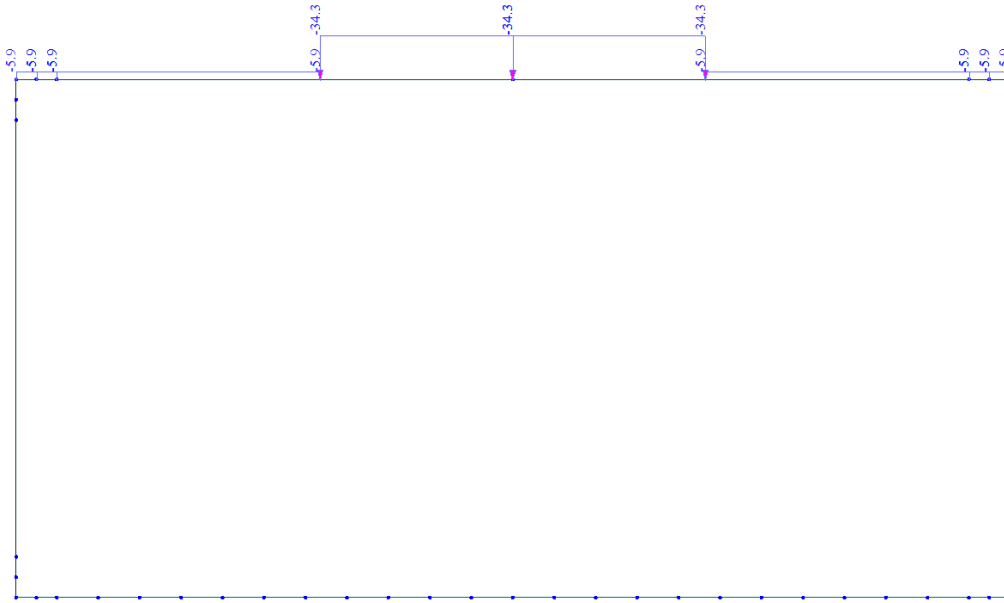


Figura 11: Carichi da traffico max carico centrato sulla soletta

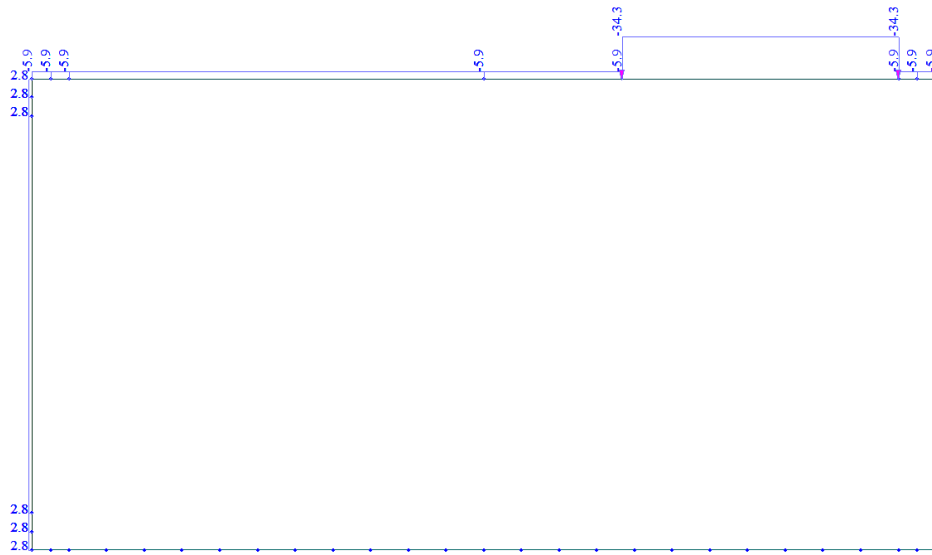


Figura 12: Carichi da traffico max carico eccentrico sulla soletta

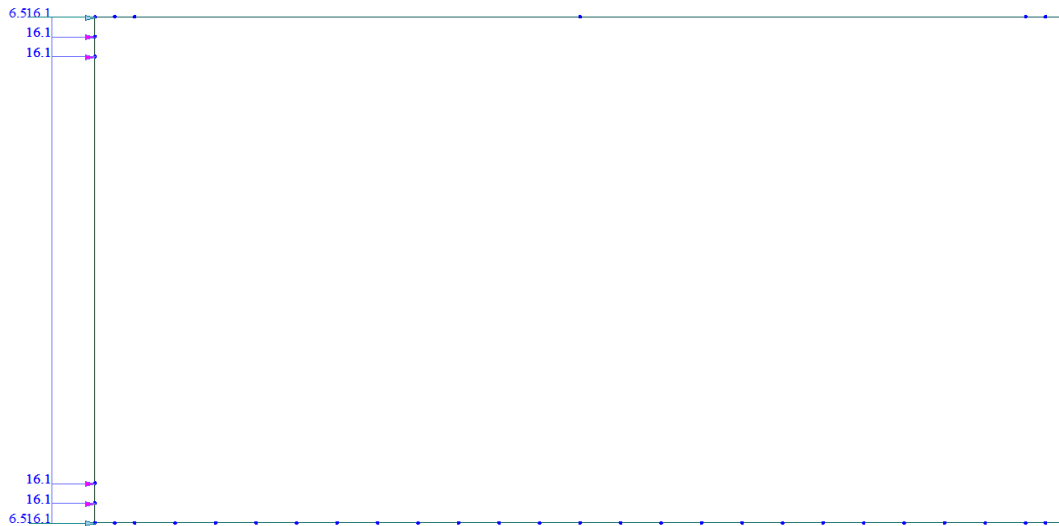


Figura 13: Carichi da traffico max spinta sui piedritti

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

#### 8.4.2 Frenamento e accelerazione

Le sollecitazioni di frenamento e accelerazione sono valutate secondo la formula seguente

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 389 \text{ kN} \leq 900 \text{ kN}$$

Il valore dell'azione distribuita applicata al modello ( $q_{d,3}$ ) sono ottenuti dalla seguente formula:

$$q_{d,3} = q_3 / (L \cdot L_d) = 8.6 \text{ kN/m}$$

#### 8.5 AZIONI TERMICHE

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

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

#### 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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 23 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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 ( $\Delta T_{\text{ritiro}}$ ) 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:

$$\varepsilon_{c0} = -0.24\text{‰};$$

$$h_0 = 1600\text{mm};$$

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

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:

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

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

Dove:

$$a_{\text{max}} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

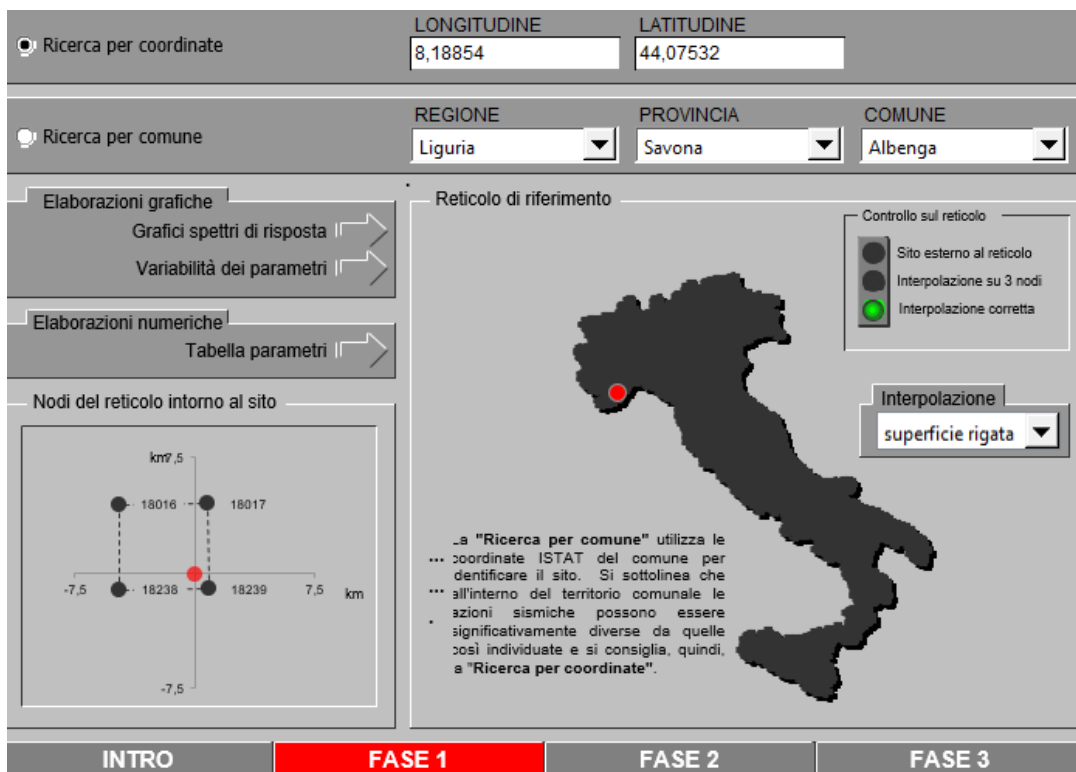
$S_s$  = coeff. amplificazione stratigrafica

$S_T$  = 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.



LONGITUDINE: 8,18854      LATITUDINE: 44,07532

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

Controllo sul reticolo:  
● Sito esterno al reticolo  
● Interpolazione su 3 nodi  
● Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

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) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

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

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;

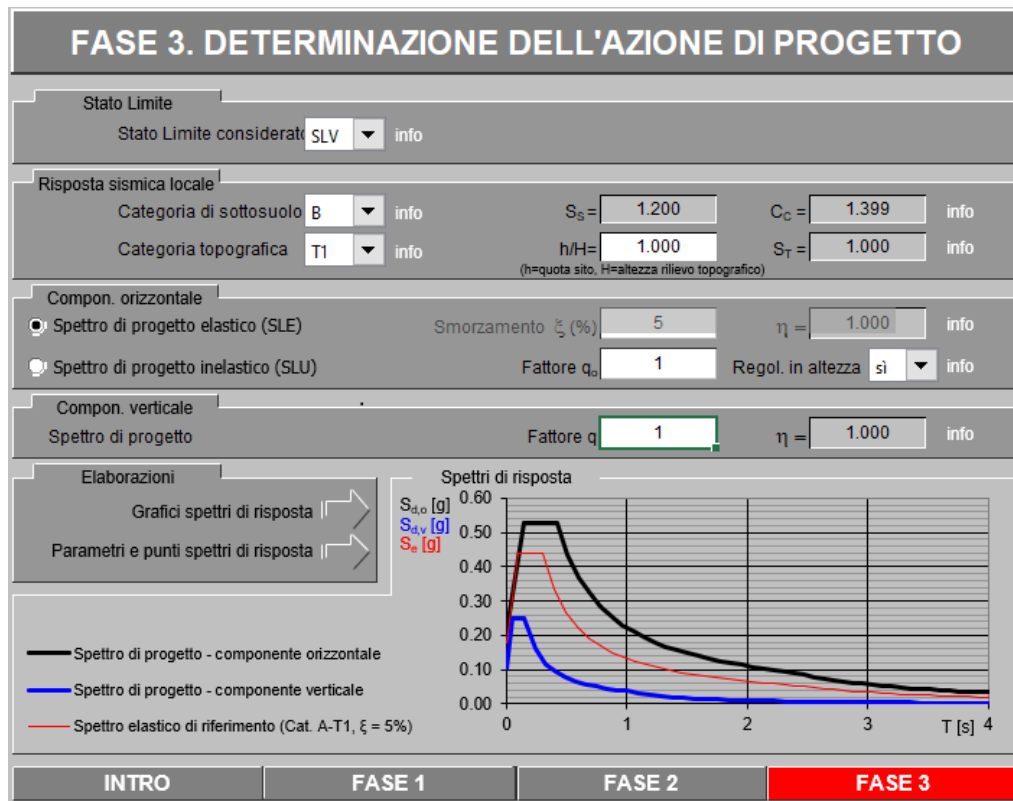
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	68	0.041	2.575	0.223
SLD	113	0.056	2.558	0.243
SLV	1068	0.178	2.461	0.300
SLC	2193	0.237	2.486	0.316

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;



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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe  
Relazione di calcolo scatolare stradale

COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 27 di 83
------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

g= accelerazione di gravità;

Coefficienti sismici agli SLV

$S=S_s \times S_T$	=	1.20	
$a_{max}$	=	0.214	g
$\beta_m$	=	1.00	Struttura che non subisce spostamenti
$K_h$	=	0.214	coeff. sismico orizzontale
$K_v$	=	0.107	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:

$$q_E = \gamma_t \cdot H_t \cdot k_h = 25.3 \text{ kN/m}^2$$

Con:

$$\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$$

$H_t = 5.9 \text{ m}$  altezza totale della struttura

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 34 e 1, le seguenti forze derivanti dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

Nodi sup. (SISX) sul nodo 34		
$q_E \cdot S_s / 2$	10.1	kN

Nodi inf (SISX) sul nodo 1		
$q_E \cdot S_s / 2$	10.1	kN

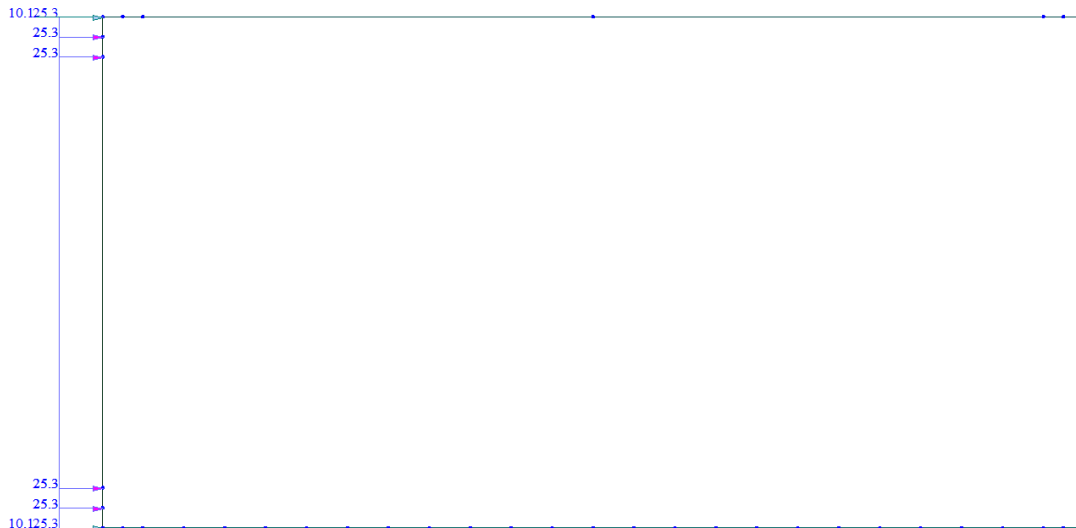


Figura 14: Sovrappinta sismica del terreno

### 8.7.3 Forze inerziali dovute ai carichi permanenti sulla soletta superiore

Mentre le forze sismiche inerziali dovute al peso proprio strutturale sono applicate sotto forma 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:

$$F_{h,r} = g_2 \cdot L_{tot} \cdot k_h / L = 3.2 \text{ kN/m}$$

$$F_{v,r} = g_2 \cdot L_{tot} \cdot k_v / L = 1.6 \text{ kN/m}$$

Inoltre, tra le masse sismiche si considerano le azioni dovute al carico stradale con coefficiente pari a 0.20:

$$F_{h,tr} = 0.2 \cdot Q_{vk} \cdot L_{tot} \cdot k_h / L = 1.6 \text{ kN/m}$$

$$F_{v,tr} = 0.2 \cdot Q_{vk} \cdot L_{tot} \cdot k_v / L = 0.8 \text{ kN/m}$$

In totale si ottiene:

$$F_h = F_{h,r} + F_{h,tr} = 4.8 \text{ kN/m}$$

$$F_v = F_{v,r} + F_{v,tr} = 2.4 \text{ kN/m}$$

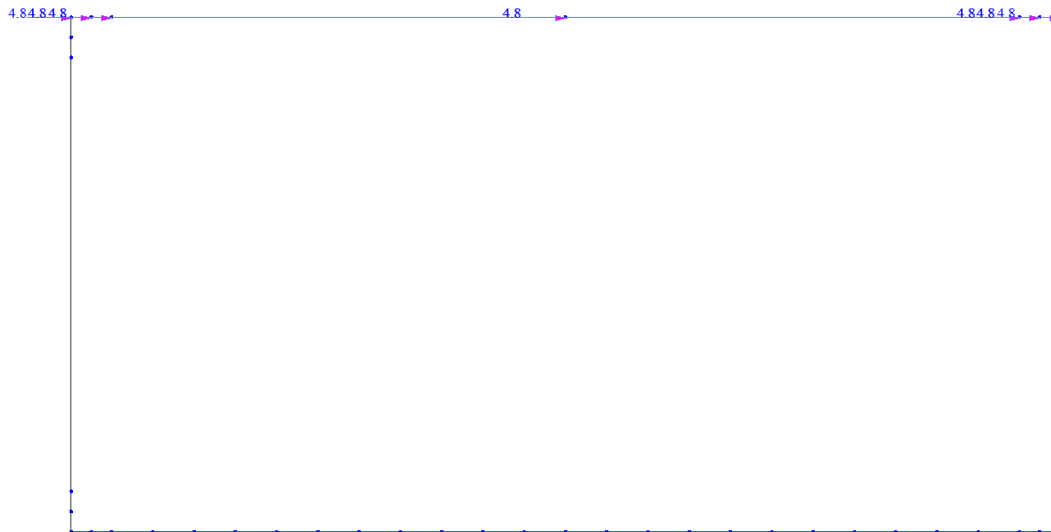


Figura 15: Forza inerziale orizzontale

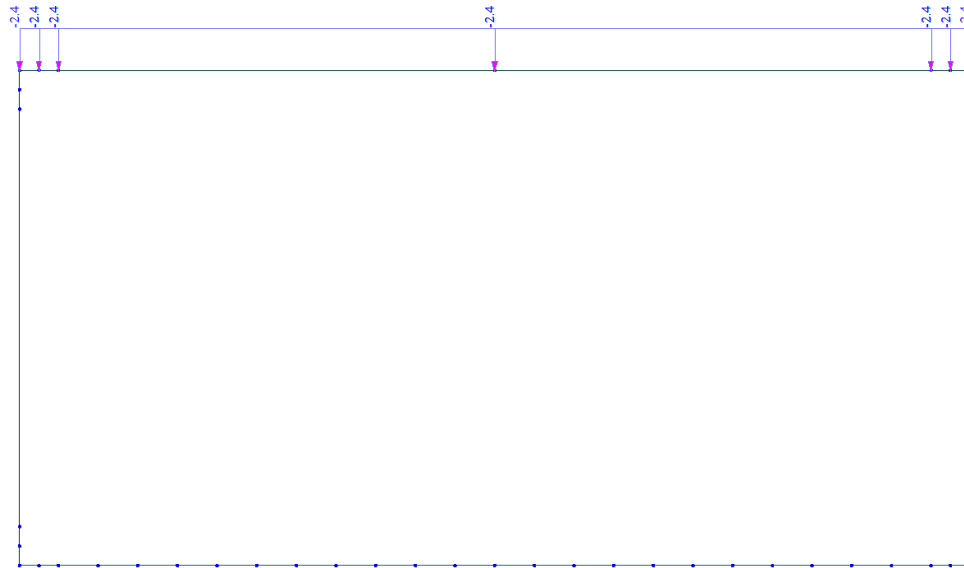


Figura 16: Forza inerziale verticale

## 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  $\gamma_R$  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)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tabella 1 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni

**Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  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 2 – 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 del mezzo, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico stradale, adottando i coefficienti di cui alla *Tabella 5.1.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. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

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

(\*) Ponti pedonali  
(\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
(\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

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.

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

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

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

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

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

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

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico stradale 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.





## 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:

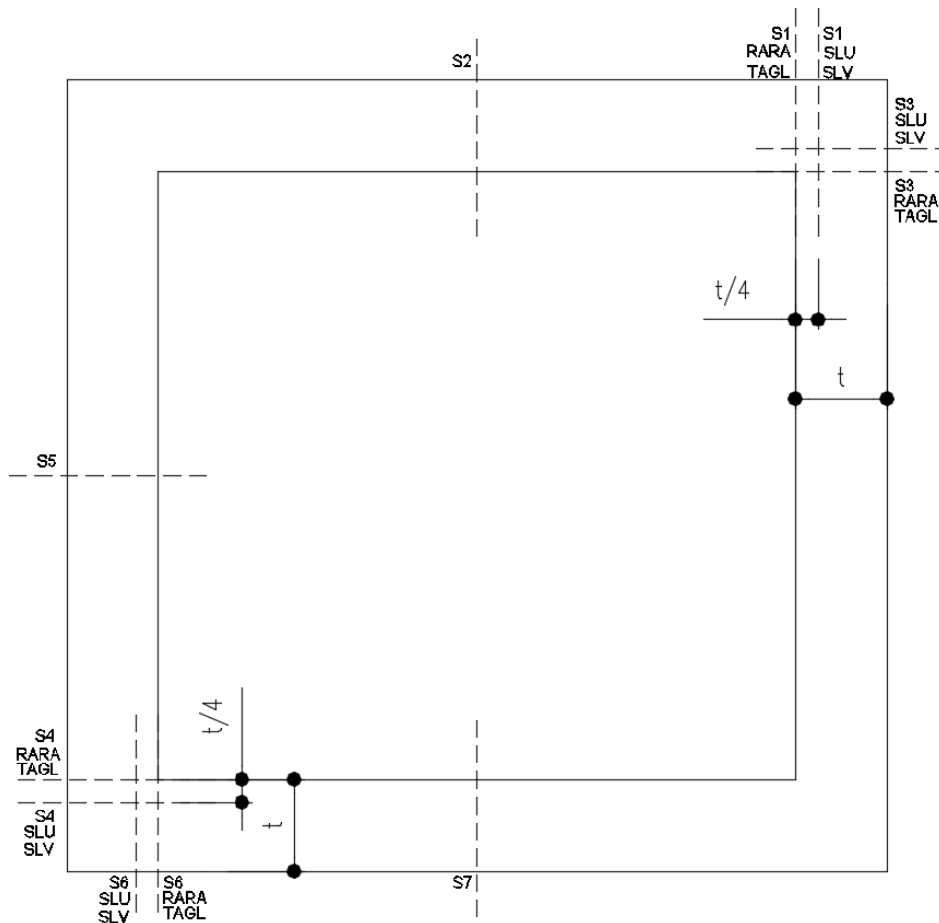
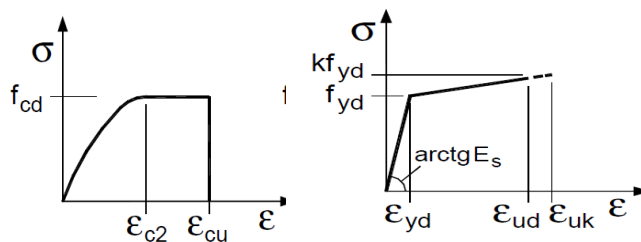


Figura 17: Sezioni di verifica

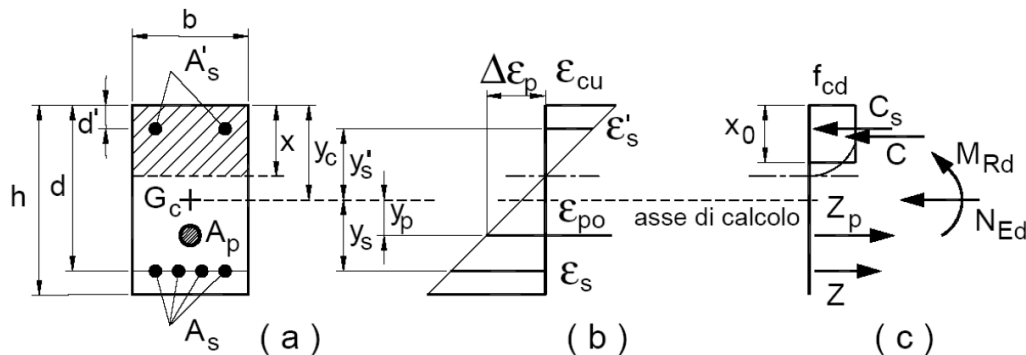
## 10.1 VERIFICHE ALLO SLU

### 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  $0.5 f_{cd}$ ;
- $\alpha$  è l'inclinazione dell'armatura resistente a taglio rispetto all'asse dell'elemento;



- $\theta$  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 attesa, 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  $\delta_f$  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 involuppo delle sollecitazioni.

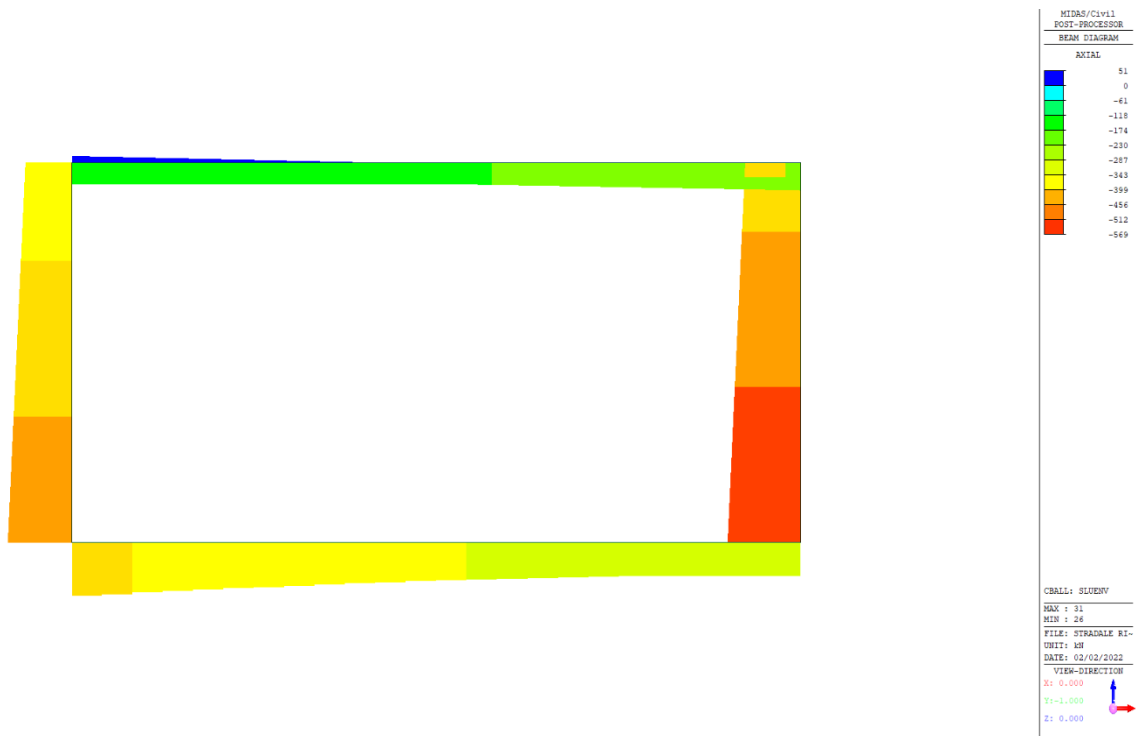


Figura 18 – Involuppo Sforzo Normale SLU

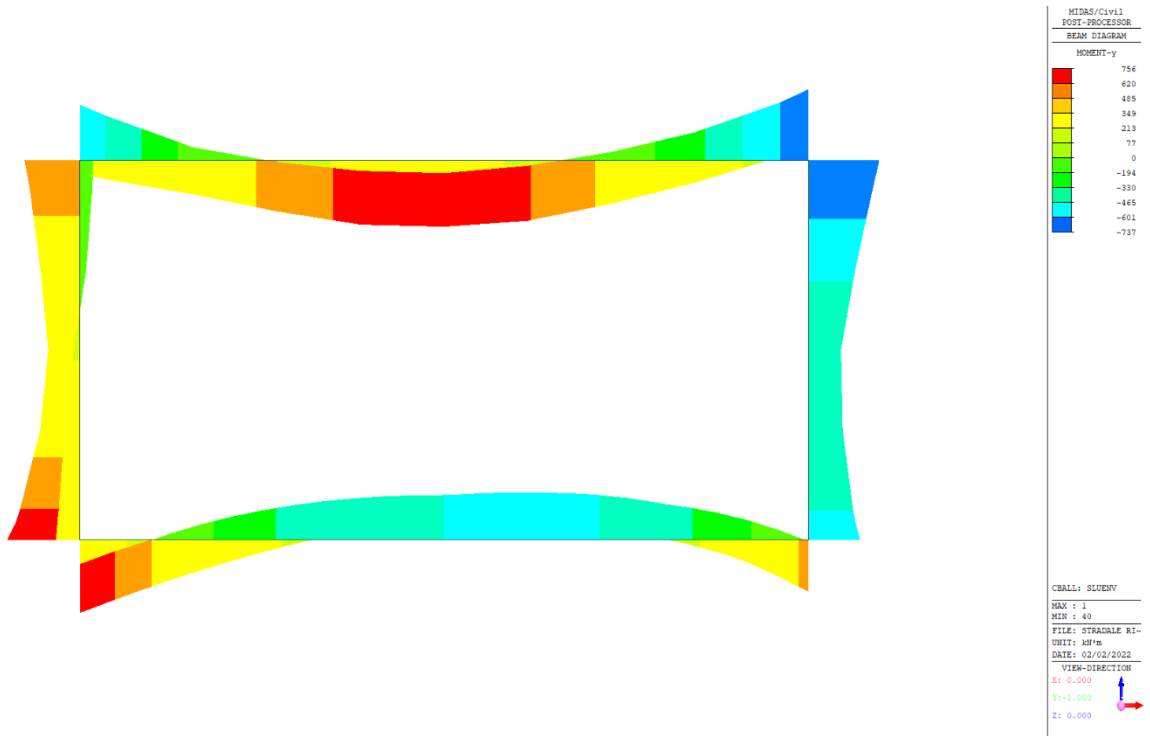


Figura 19 – Involuppo Momento Flettente SLU

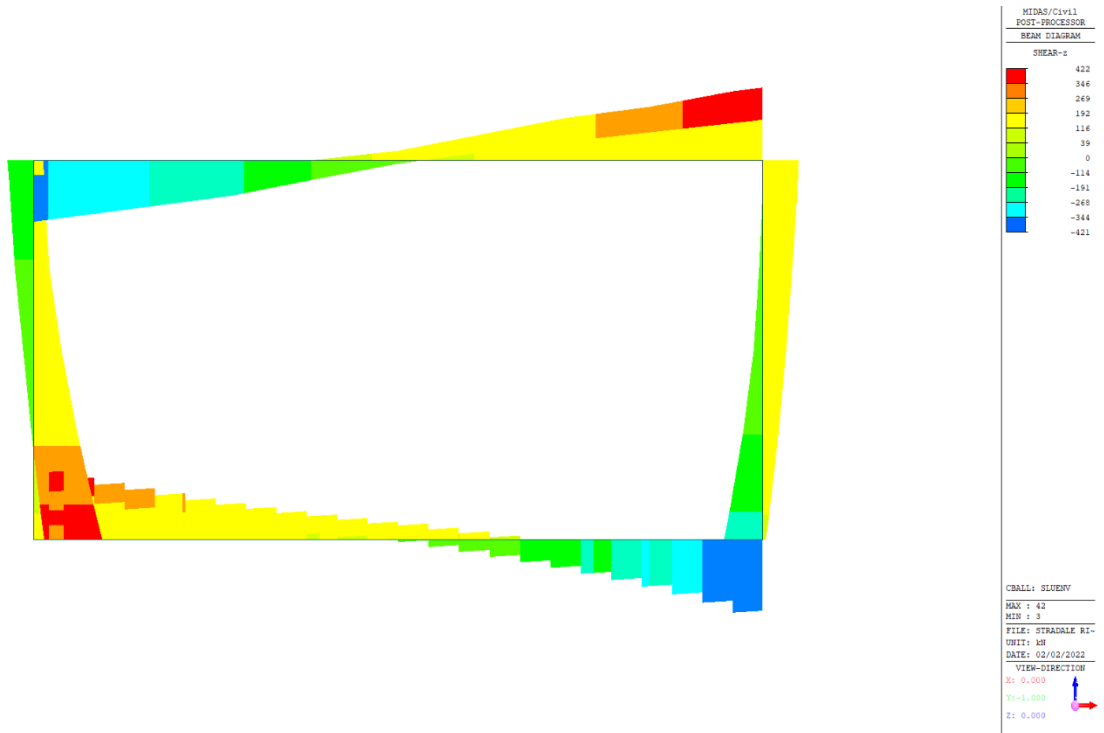


Figura 20 – Involuppo Taglio SLU

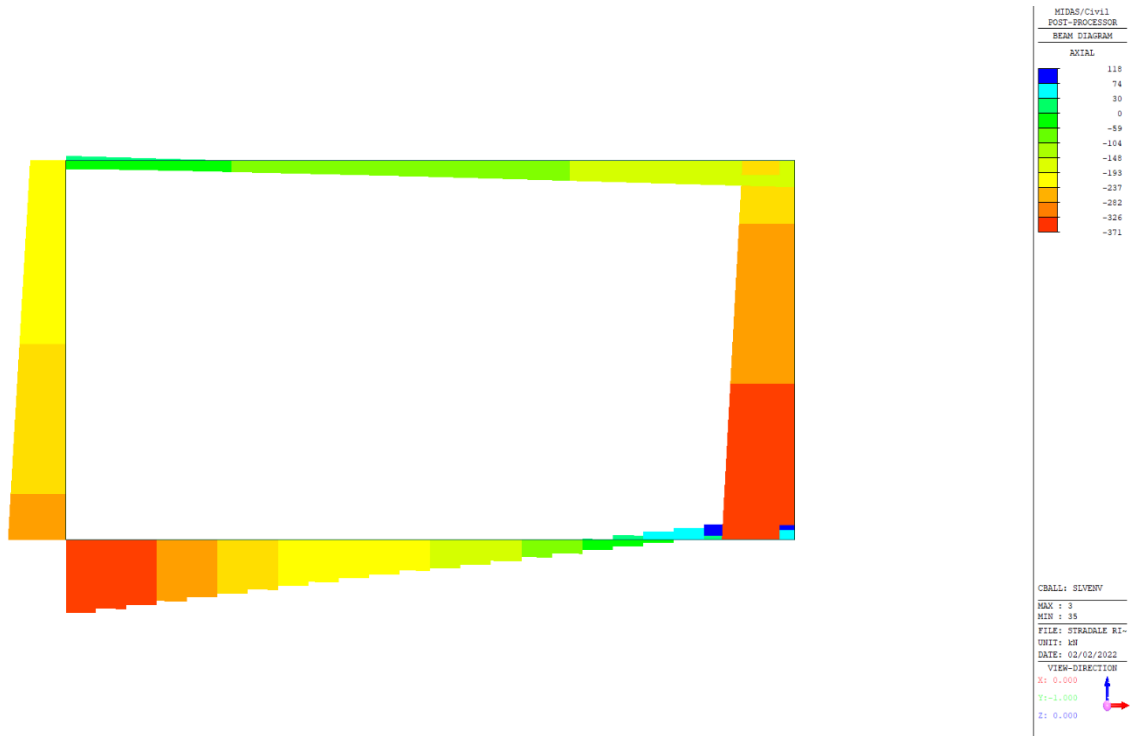


Figura 21 – Involuppo Sforzo Normale SLV

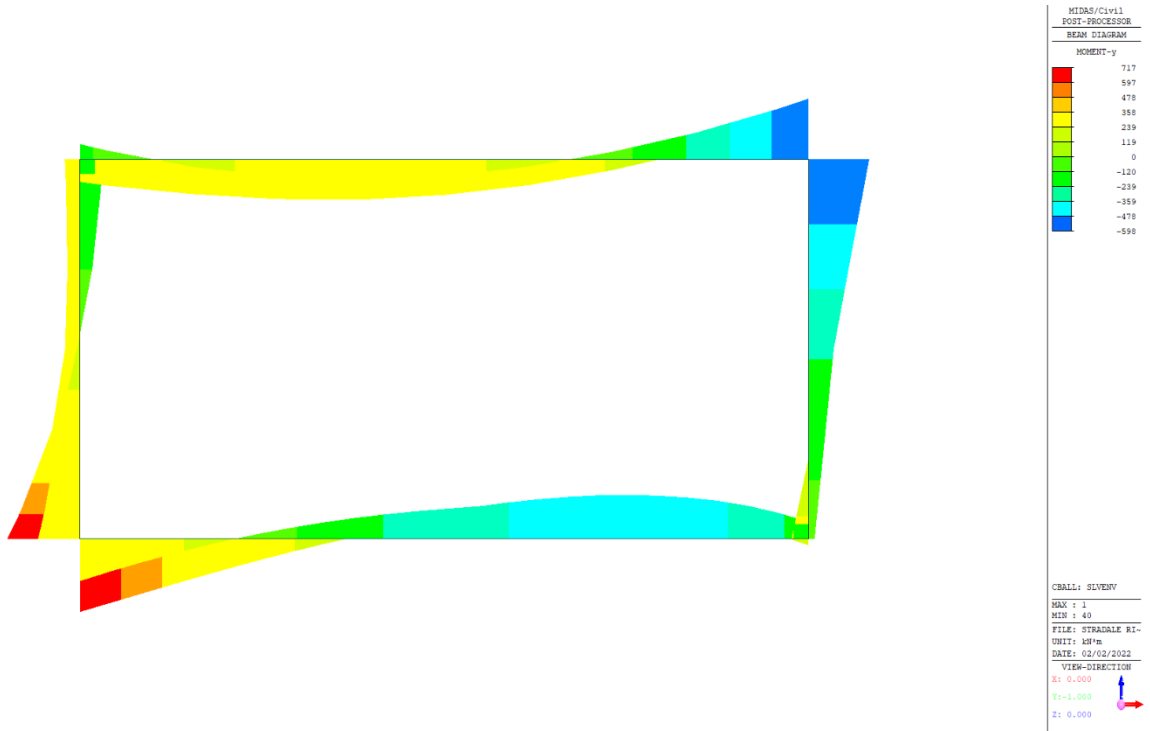


Figura 22 – Involuppo Momento Flettente SLV

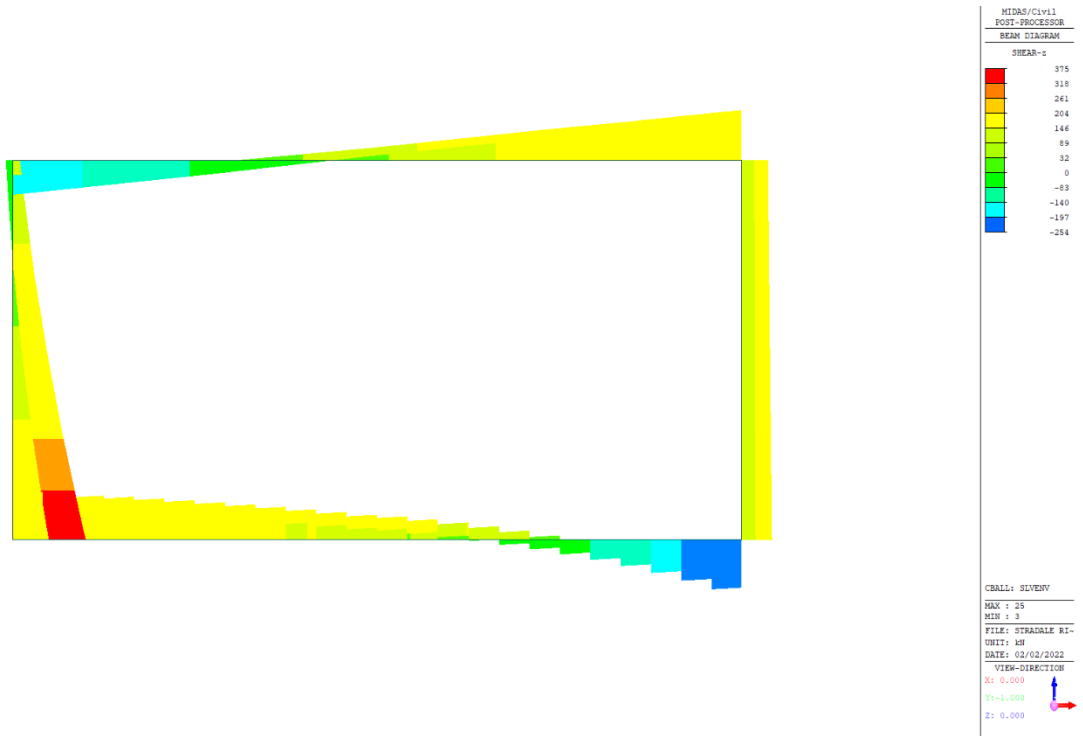


Figura 23 – Involuppo Taglio SLV

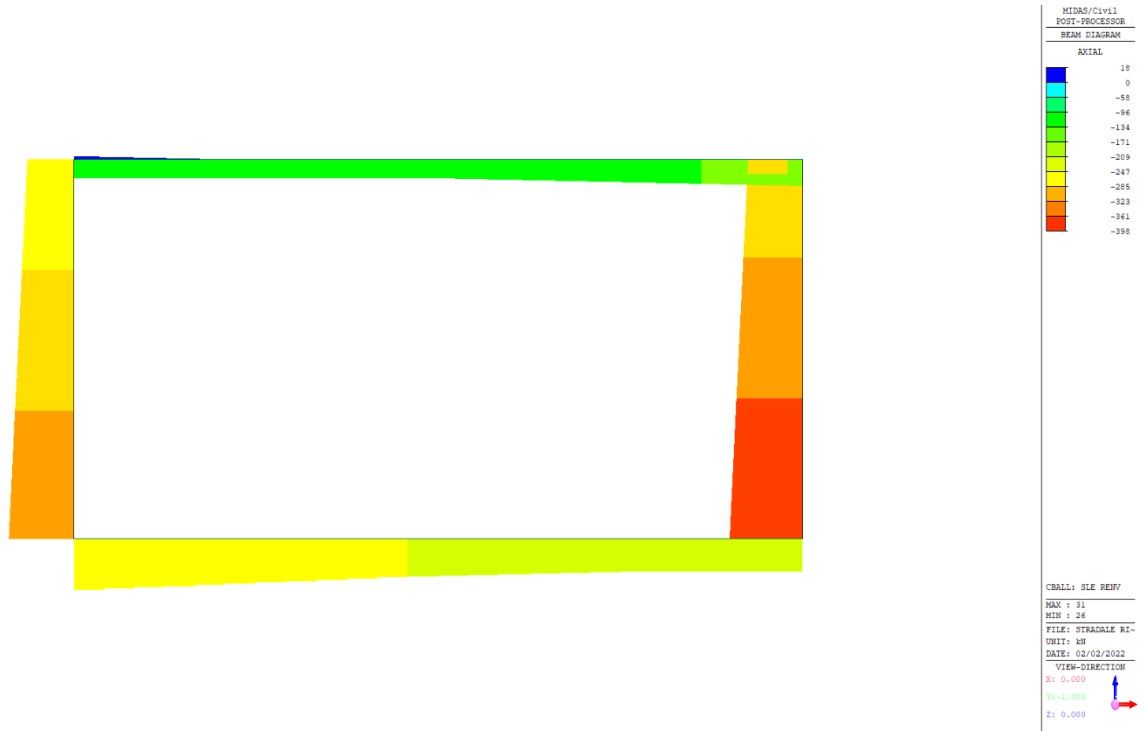


Figura 24 – Involuppo Sforzo Normale SLE-R

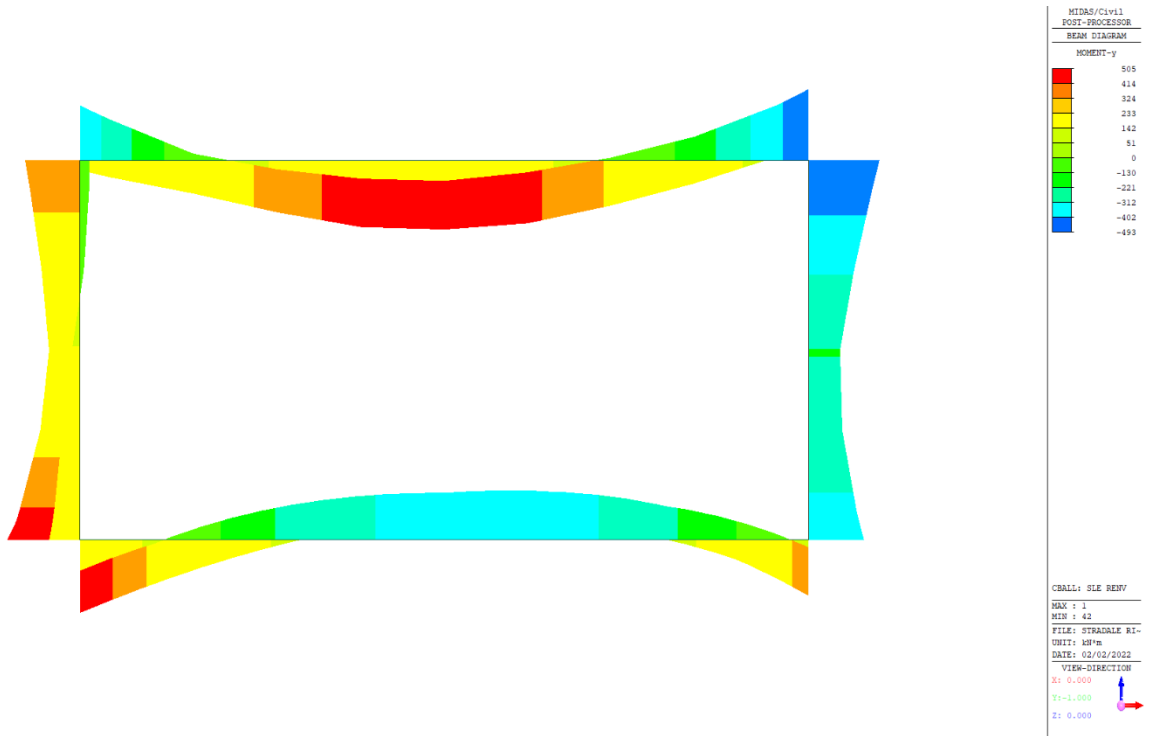


Figura 25 – Involuppo Momento Flettente SLE-R

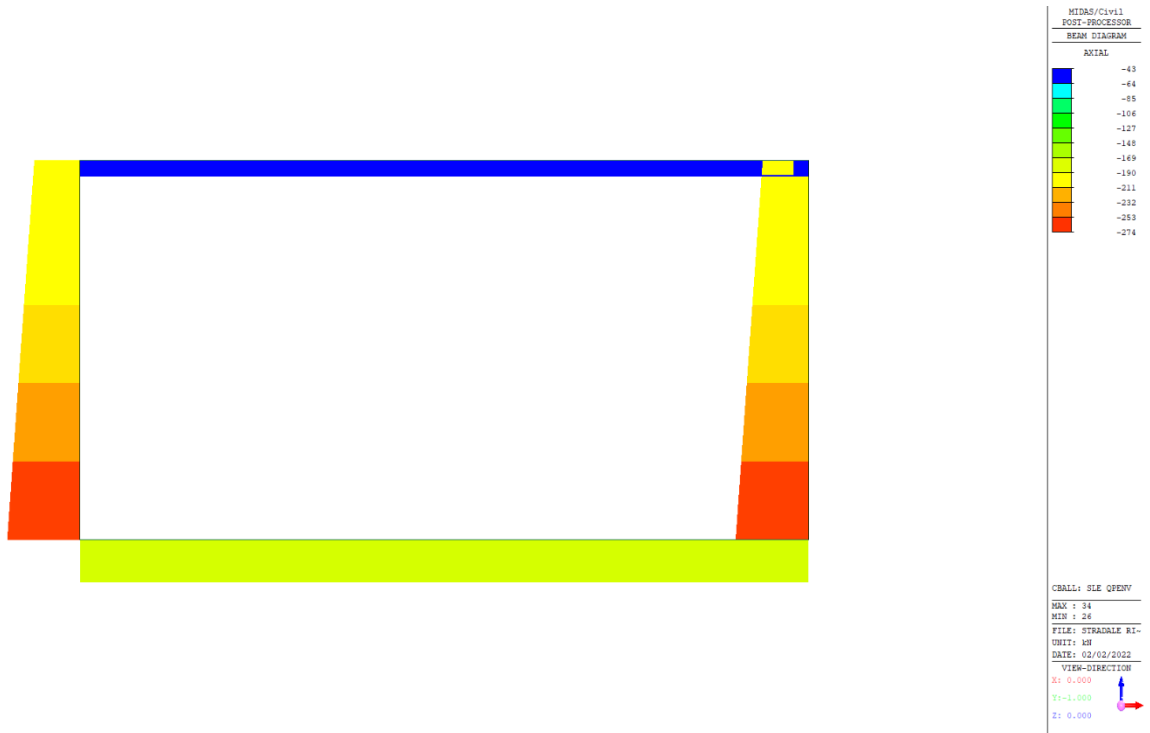


Figura 26 – Involuppo Sforzo Normale SLE-QP

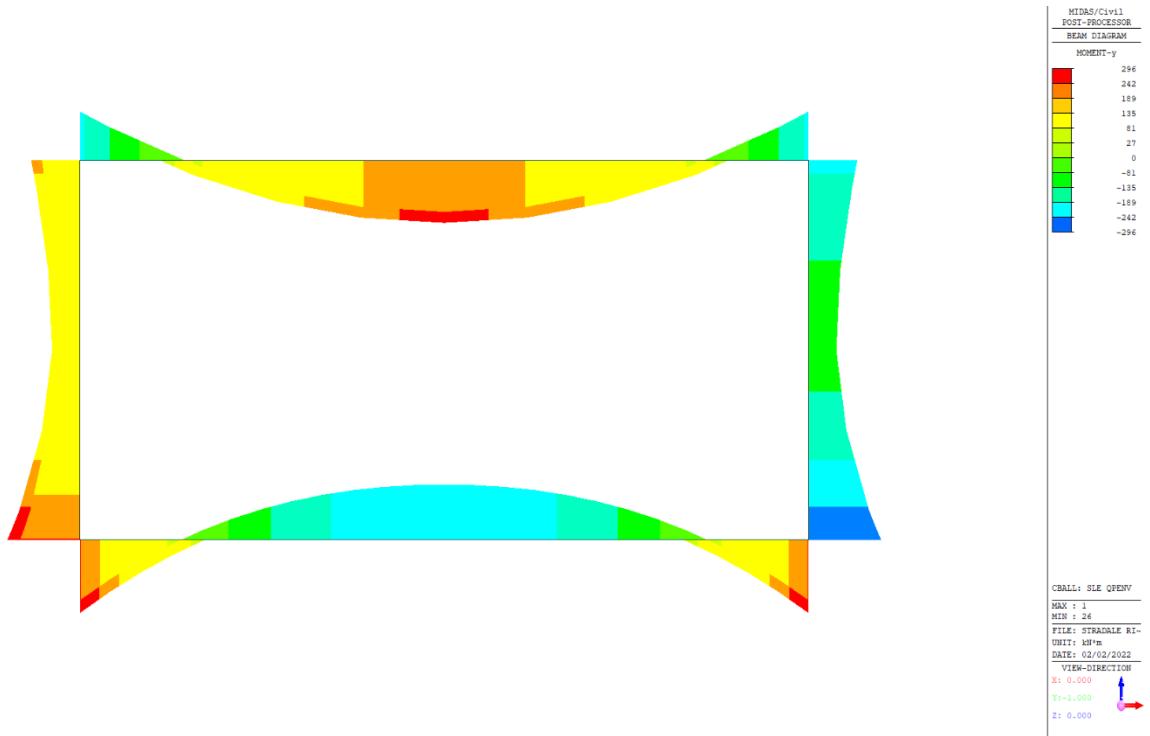


Figura 27 – Involuppo Momento Flettente SLE-QP



## 11.2 Riassunto delle sollecitazioni di progetto

S1	N	M	V	S2	N	M	V
	(kN)	(kNm)	(kN)		(kN)	(kNm)	(kN)
SLU	49	-511	-333	SLU	-10	688	56
	-10	-665	400		-30	350	67
SLV	21	242	-161	SLV	-30	350	67
	-66	-547	244		-24	479	
SLE R	14	-284		SLE R	-24	479	
	-24	-387			-43	254	
SLE QP	-43	-135		SLE QP	-43	254	
S3	N	M	V	S4	N	M	V
	(kN)	(kNm)	(kN)		(kN)	(kNm)	(kN)
SLU	-193	-547	-141	SLU	-320	-679	353
	-249	-701	204		-376	-497	-190
SLV	-116	214	53	SLV	-213	-643	340
	-227	-571	138		-331	135	157
SLE R	-146	-346		SLE R	-232	-419	
	-180	-442			-266	-333	
SLE QP	-180	-176		SLE QP	-266	-247	
S5	N	M	V	S6	N	M	V
	(kN)	(kNm)	(kN)		(kN)	(kNm)	(kN)
SLU	-256	-330	159	SLU	-83	698	399
	-312	-338	138		-27	458	-421
SLV	-164	-147	174	SLV	-190	674	249
	-279	-249	147		118	-211	-254
SLE R	-189	-215		SLE R	-111	421	
	-223	-220			-70	273	
SLE QP	-223	-114		SLE QP	-141	211	
S7	N	M	V				
	(kN)	(kNm)	(kN)				
SLU	-82	-465	84				
SLV	-64	-295	114				
SLE R	-109	-327					
SLE QP	-140	-224					

### 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	spilli 3Ø12/20
FONDAZIONE	Armatura base 1Ø24/20 inf. + 1Ø20/20 sup. Aggiuntiva all'incastro 1Ø24/20 inf. Aggiuntiva in mezzeria 1Ø20/20 sup.	spilli 3Ø10/20
COPERTURA	Armatura base 1+1Ø24/20 Aggiuntiva all'incastro 1Ø24/20 sup. Aggiuntiva in mezzeria 1Ø24/20 inf.	spilli 3Ø10/20

L'armatura a taglio indicata in tabella si estende per 3m a partire dal filo interno. 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. 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:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.7	cm

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

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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 52 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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	-49.00	-511.00	333.00	0.00
2	10.00	-665.00	400.00	0.00
3	-21.00	242.00	161.00	0.00
4	66.00	-547.00	244.00	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	-14.00	-284.00
2	24.00	-387.00

#### 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	-14.00	-284.00 (-427.55)
2	24.00	-387.00 (-434.34)

#### 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	-43.00	-135.00 (-411.97)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.3 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)

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 53 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Yn Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 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<sup>2</sup>] 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	-49.00	-511.00			2.264	21.8	0.30	0.81	45.2 (13.1)
2	S	10.00	-665.00			1.755	22.1	0.30	0.82	45.2 (13.1)
3	S	-21.00	242.00			2.437	65.3	0.20	0.70	22.6 (13.1)
4	S	66.00	-547.00			2.162	22.5	0.31	0.82	45.2 (13.1)

### 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	0.00057	6.7	-0.00196	73.3
2	0.00085	0.0	0.00059	6.7	-0.00196	73.3
3	0.00049	80.0	0.00027	73.3	-0.00196	6.7
4	0.00086	0.0	0.00061	6.7	-0.00196	73.3

### 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 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm<sup>2</sup>/m]

### VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
 Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
 Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato 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<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	333.00	0.00	2138.35	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.000	5.2
2	S	400.00	366.42	2139.77	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.001	6.2
3	S	161.00	0.00	2138.35	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.000	2.5
4	S	244.00	375.49	2147.73	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.004	3.8

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 54 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+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	3.02	0.0	0.00	23.3	-97.1	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	4.17	0.0	0.00	24.0	-128.0	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	-0.00055	0.00023	0.50	0.60	0.000291 (0.000291)	338 0.098 (990.00)		-427.55
2	S	-0.00073	0.00031	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	338 0.130 (990.00)		-434.34

#### 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	3.02	0.0	0.00	23.3	-97.1	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	4.17	0.0	0.00	24.0	-128.0	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	-0.00055	0.00023	0.50	0.60	0.000291 (0.000291)	338 0.098 (0.20)		-427.55
2	S	-0.00073	0.00031	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	338 0.130 (0.20)		-434.34

#### 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	21.7	-49.8	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	-0.00028	0.00010	0.50	0.40	0.000149 (0.000149)	338 0.051 (0.20)		-411.97

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 55 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

### 11.4.1.2 Sezione S2

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 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:	80.0	cm
Barre inferiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.7	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	10.00	688.00	56.00	0.00
2	30.00	350.00	67.00	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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 56 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

N°Comb.	N	Mx
1	24.00	479.00

#### 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	24.00	479.00 (433.60)

#### 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	43.00	254.00 (441.09)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.5 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  $\geq 1.000$   
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<sup>2</sup>] 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	10.00	688.00			1.697	57.9	0.30	0.82	45.2 (13.1)
2	S	30.00	350.00			3.349	57.7	0.30	0.82	45.2 (13.1)

#### 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.)





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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 57 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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	0.00085	80.0	0.00059	73.3	-0.00196	6.7
2	0.00085	80.0	0.00060	73.3	-0.00196	6.7

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata  
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
d Altezza utile sezione [cm]  
bw Larghezza minima sezione [cm]  
Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]  
Scp Tensione media di compressione nella sezione [MPa]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	56.00	366.42	73.3	100.0	0.0062	0.00
2	S	67.00	370.55	73.3	100.0	0.0062	0.00

**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<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\emptyset/2)$  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	5.15	80.0	0.00	56.0	-159.0	73.3	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;  $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
srm Distanza massima in mm tra le fessure  
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00090	0.00039	0.50	0.60	0.000477 (0.000477)	338	0.161 (990.00)	433.60

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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 58 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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	5.15	80.0	0.00	56.0	-159.0	73.3	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	-0.00090	0.00039	0.50	0.60	0.000477 (0.000477)	338	0.161 (0.20)	433.60

**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	2.77	80.0	0.00	55.2	-81.3	73.3	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	-0.00046	0.00021	0.50	0.40	0.000244 (0.000244)	338	0.082 (0.20)	441.09

### 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
	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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 59 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.7	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	193.00	-547.00	141.00	0.00
2	249.00	-701.00	204.00	0.00
3	116.00	214.00	53.00	0.00
4	227.00	-571.00	138.00	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	146.00	-346.00
2	180.00	-442.00

#### 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	146.00	-346.00 (-457.86)
2	180.00	-442.00 (-456.85)

#### 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	180.00	-176.00 (-503.36)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.5	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 60 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Copriferro netto minimo staffe: 4.3 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 $\geq 1.000$
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 <sup>2</sup> ] 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	193.00	-547.00			2.224	23.2	0.32	0.84	45.2 (13.1)
2	S	249.00	-701.00			1.759	23.5	0.32	0.84	45.2 (13.1)
3	S	116.00	214.00			2.998	64.2	0.21	0.71	22.6 (13.1)
4	S	227.00	-571.00			2.147	23.4	0.32	0.84	45.2 (13.1)

### 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	0.00090	0.0	0.00064	6.7	-0.00196	73.3
2	0.00092	0.0	0.00066	6.7	-0.00196	73.3
3	0.00054	80.0	0.00031	73.3	-0.00196	6.7
4	0.00091	0.0	0.00065	6.7	-0.00196	73.3

### 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	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm <sup>2</sup> /m]

### VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato 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 <sup>2</sup> /m]

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 61 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	141.00	392.95	2165.79	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.013	2.2
2	S	204.00	400.64	2173.75	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.017	3.2
3	S	53.00	306.77	2154.84	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.008	0.8
4	S	138.00	397.62	2170.62	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.015	2.1

### 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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+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	3.87	0.0	0.00	26.6	-102.3	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	4.92	0.0	0.00	26.4	-131.3	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	-0.00058	0.00029	0.50	0.60	0.000307 (0.000307)	338 0.104 (990.00)		-457.86
2	S	-0.00075	0.00037	0.50	0.60	0.000394 (0.000394)	338 0.133 (990.00)		-456.85

### 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	3.87	0.0	0.00	26.6	-102.3	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	4.92	0.0	0.00	26.4	-131.3	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	-0.00058	0.00029	0.50	0.60	0.000307 (0.000307)	338 0.104 (0.20)		-457.86
2	S	-0.00075	0.00037	0.50	0.60	0.000394 (0.000394)	338 0.133 (0.20)		-456.85

### 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
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 62 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

1 S 2.06 0.0 0.00 31.0 -42.3 6.7 16.4 1637 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	-0.00024	0.00015	0.50	0.40	0.000127 (0.000127)	335	0.042 (0.20)	-503.36

**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
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:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.7	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]



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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 63 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	320.00	-679.00	353.00	0.00
2	376.00	-497.00	190.00	0.00
3	213.00	-643.00	340.00	0.00
4	331.00	135.00	157.00	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	232.00	-419.00
2	266.00	-333.00

**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	232.00	-419.00 (-467.12)
2	266.00	-333.00 (-485.38)

**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	-266.00	-247.00 (-373.61)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.3 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  $\geq 1.000$   
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]

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 64 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] 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	320.00	-679.00			1.844	23.9	0.33	0.85	45.2 (13.1)
2	S	376.00	-497.00			2.541	24.1	0.33	0.85	45.2 (13.1)
3	S	213.00	-643.00			1.902	23.3	0.32	0.84	45.2 (13.1)
4	S	331.00	135.00			5.413	62.7	0.24	0.73	22.6 (13.1)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00094	0.0	0.00068	6.7	-0.00196	73.3
2	0.00096	0.0	0.00069	6.7	-0.00196	73.3
3	0.00091	0.0	0.00065	6.7	-0.00196	73.3
4	0.00060	80.0	0.00037	73.3	-0.00196	6.7

### 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	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm <sup>2</sup> /m]

### VERIFICHE A TAGLIO

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	353.00	410.40	2183.84	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.021	5.5
2	S	190.00	418.10	2191.81	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.025	2.9
3	S	340.00	395.70	2168.63	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.014	5.3
4	S	157.00	336.32	2185.41	1094.81	100.0 73.3	2.500	1.022	2.4

### 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)





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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 65 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+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	4.73	0.0	0.00	27.4	-118.7	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	3.83	0.0	0.00	29.3	-86.7	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 (compressione: 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	-0.00068	0.00035	0.50	0.60	0.000356 (0.000356)	338	0.120 (990.00)	-467.12
2	S	-0.00050	0.00029	0.50	0.60	0.000260 (0.000260)	338	0.088 (990.00)	-485.38

**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	4.73	0.0	0.00	27.4	-118.7	6.7	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	3.83	0.0	0.00	29.3	-86.7	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	-0.00068	0.00035	0.50	0.60	0.000356 (0.000356)	338	0.120 (0.20)	-467.12
2	S	-0.00050	0.00029	0.50	0.60	0.000260 (0.000260)	338	0.088 (0.20)	-485.38

**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	2.23	0.0	0.00	17.0	-110.7	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	-0.00062	0.00017	0.50	0.40	0.000332 (0.000332)	338	0.112 (0.20)	-373.61

### 11.4.1.5 Sezione S5

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 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:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.7	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	256.00	-330.00	159.00	0.00
2	312.00	-338.00	138.00	0.00
3	164.00	-147.00	174.00	0.00
4	279.00	-249.00	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.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 67 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	189.00	-215.00
2	223.00	-220.00

#### 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	189.00	-215.00 (-445.62)
2	223.00	-220.00 (-455.78)

#### 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	223.00	-114.00 (-542.38)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.3 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.5 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  $\geq 1.000$   
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<sup>2</sup>] 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	256.00	-330.00			2.060	18.0	0.25	0.75	22.6 (13.1)
2	S	312.00	-338.00			2.063	18.4	0.25	0.75	22.6 (13.1)
3	S	164.00	-147.00			4.429	17.3	0.24	0.73	22.6 (13.1)
4	S	279.00	-249.00			2.759	18.1	0.25	0.75	22.6 (13.1)

#### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 68 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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	0.00064	0.0	0.00040	6.7	-0.00196	73.3
2	0.00066	0.0	0.00042	6.7	-0.00196	73.3
3	0.00060	0.0	0.00037	6.7	-0.00196	73.3
4	0.00064	0.0	0.00041	6.7	-0.00196	73.3

#### VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [MPa]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	159.00	326.01	73.3	100.0	0.0031	0.03
2	S	138.00	333.71	73.3	100.0	0.0031	0.04
3	S	174.00	313.37	73.3	100.0	0.0031	0.02
4	S	147.00	329.17	73.3	100.0	0.0031	0.03

#### 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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ 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	22.7	-102.9	6.7	16.8	1675	22.6	21.7
2	S	3.15	0.0	0.00	23.6	-99.6	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; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2



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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 69 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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	-0.00058	0.00023	0.50	0.60	0.000309 (0.000309)	489 0.151 (990.00)		-445.62
2	S	-0.00057	0.00024	0.50	0.60	0.000299 (0.000299)	489 0.146 (990.00)		-455.78

**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	22.7	-102.9	6.7	16.8	1675	22.6	21.7
2	S	3.15	0.0	0.00	23.6	-99.6	6.7	16.8	1675	22.6	21.7

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00058	0.00023	0.50	0.60	0.000309 (0.000309)	489 0.151 (0.20)		-445.62
2	S	-0.00057	0.00024	0.50	0.60	0.000299 (0.000299)	489 0.146 (0.20)		-455.78

**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	1.62	0.0	0.00	31.7	-32.7	6.7	16.2	1624	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	-0.00019	0.00012	0.50	0.40	0.000098 (0.000098)	480 0.047 (0.20)		-542.38

**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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 70 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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:	80.0	cm
Barre inferiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø20	(15.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.7	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	6.7	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	83.00	698.00	399.00	0.00
2	27.00	458.00	421.00	0.00
3	190.00	674.00	249.00	0.00
4	-118.00	-211.00	254.00	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	111.00	421.00
2	70.00	273.00

#### 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	111.00	421.00 (440.87)
2	70.00	273.00 (440.41)

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



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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 71 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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	141.00	211.00 (467.82)

### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.3 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  $\geq 1.000$   
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<sup>2</sup>] 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	83.00	698.00			1.696	57.0	0.31	0.83	45.2 (13.1)
2	S	27.00	458.00			2.550	57.3	0.31	0.83	45.2 (13.1)
3	S	190.00	674.00			1.798	56.3	0.32	0.84	45.2 (13.1)
4	S	-118.00	-211.00			1.736	11.4	0.16	0.70	15.7 (13.1)

### 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	0.00090	80.0	0.00064	73.3	-0.00196	6.7
2	0.00088	80.0	0.00062	73.3	-0.00196	6.7
3	0.00093	80.0	0.00067	73.3	-0.00196	6.7
4	0.00036	0.0	0.00015	6.7	-0.00196	73.3

### 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 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm<sup>2</sup>/m]

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 72 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

### 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 <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw/d	Ctg	Acw	ASt
1	S	399.00	377.83	2150.15	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.006	6.2
2	S	421.00	370.13	2142.19	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.002	6.5
3	S	249.00	392.54	2165.36	1094.81	100.0  73.3	2.500	1.013	3.9
4	S	254.00	0.00	2138.35	1094.81	100.0  73.3	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. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+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	80.0	0.00	54.1	-131.5	73.3	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	3.11	80.0	0.00	54.1	-85.4	73.3	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	-0.00075	0.00036	0.50	0.60	0.000394 (0.000394)	338	0.133 (990.00)	440.87
2	S	-0.00049	0.00023	0.50	0.60	0.000256 (0.000256)	338	0.087 (990.00)	440.41

### 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	80.0	0.00	54.1	-131.5	73.3	16.8	1675	45.2	9.6
2	S	3.11	80.0	0.00	54.1	-85.4	73.3	16.8	1675	45.2	9.6





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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 73 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00075	0.00036	0.50	0.60	0.000394 (0.000394)	338	0.133 (0.20)	440.87
2	S	-0.00049	0.00023	0.50	0.60	0.000256 (0.000256)	338	0.087 (0.20)	440.41

**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	2.50	80.0	0.00	51.2	-57.9	73.3	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	-0.00033	0.00019	0.50	0.40	0.000174 (0.000174)	338	0.059 (0.20)	467.82

**11.4.1.7 Sezione S7**

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 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:
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:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø24	(22.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.7	cm

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 74 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Coprif.Sup.(dal baric. barre): 6.7 cm  
Coprif.Lat. (dal baric.barre): 6.7 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	82.00	-465.00	84.00	0.00
2	64.00	-295.00	114.00	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	109.00	-327.00

#### 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	109.00	-327.00 (-425.54)

#### 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	140.00	-224.00 (-445.09)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.5 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.)

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 75 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

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  $\geq 1.000$   
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<sup>2</sup>] 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	82.00	-465.00			1.821	19.2	0.26	0.77	31.4 (13.1)
2	S	64.00	-295.00			2.850	19.1	0.26	0.77	31.4 (13.1)

### 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	0.00069	0.0	0.00045	6.7	-0.00196	73.3
2	0.00069	0.0	0.00045	6.7	-0.00196	73.3

### VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata  
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
d Altezza utile sezione [cm]  
bw Larghezza minima sezione [cm]  
Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]  
Scp Tensione media di compressione nella sezione [MPa]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	84.00	335.76	73.3	100.0	0.0043	0.01
2	S	114.00	333.28	73.3	100.0	0.0043	0.01

### 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<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\varnothing/2)$  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
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe Relazione di calcolo scatolare stradale	COMMESSA L371	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 3200 002	REV. A	FOGLIO 76 di 83
---	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	--------------------

1 S 4.08 0.0 0.00 22.2 -140.5 6.7 16.8 1675 31.4 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	0.00031	0.50	0.60	0.000421 (0.000421)	375 0.158 (990.00)		-425.54

**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	4.08	0.0	0.00	22.2	-140.5	6.7	16.8	1675	31.4	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	0.00031	0.50	0.60	0.000421 (0.000421)	375 0.158 (0.20)		-425.54

**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	2.85	0.0	0.00	24.1	-87.0	6.7	16.8	1675	31.4	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	-0.00049	0.00021	0.50	0.40	0.000261 (0.000261)	375 0.098 (0.20)		-445.09

#### 11.4.2 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  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

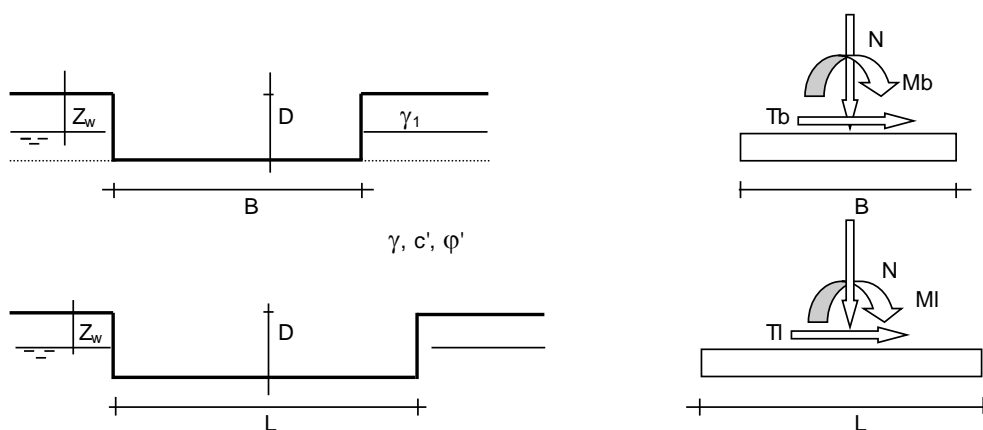
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

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

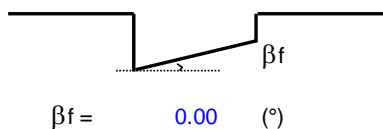
**coefficienti parziali**

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	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 = 10.90 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 6.00 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	1234.58		1234.58
Mb [kNm]	1224.99		1224.99
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*

$\gamma_1 = 20.00 \text{ (kN/mc)}$   
 $\gamma = 20.00 \text{ (kN/mc)}$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 0.00 \text{ (kN/mq)}$   
 $\phi' = 32.00 \text{ (}^\circ\text{)}$

*Valori di progetto*

$c' = 0.00 \text{ (kN/mq)}$   
 $\phi' = 32.00 \text{ (}^\circ\text{)}$

*Profondità della falda*

$Z_w = 10.00 \text{ (m)}$   
 $e_B = 0.99 \text{ (m)}$   
 $e_L = 0.00 \text{ (m)}$

$B^* = 8.92 \text{ (m)}$   
 $L^* = 1.00 \text{ (m)}$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 120.00 \text{ (kN/mq)}$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 13.67 \text{ (kN/mc)}$

**$N_c, N_q, N_\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

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

$N_q = 23.18$

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

$N_c = 35.49$

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

$N_\gamma = 30.21$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

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

$$s_c = 1.00$$

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

$$s_q = 1.00$$

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

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : 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)

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

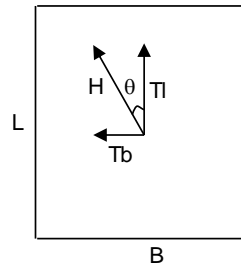
$$i_q = 1.00$$

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

$$i_c = 1.00$$

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

$$i_\gamma = 1.00$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : 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  $D/B^* > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1.39$$

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

$$d_c = 1.41$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$



**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

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

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : 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**

$$q_{lim} = 4067.36 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 138.47 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 4067.36 \geq q = 138.47 \quad (\text{kN/m}^2)$$

## 12 RIEPILOGO ARMATURE E CALCOLO DELLE INCIDENZE

Elemento	Sezione	Armatura principale	Armatura secondaria	Armatura a taglio	Incidenza
Soletta superiore	Nodi	1Ø24/10cm sup. 1Ø24/20cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/20x40	130kg/m <sup>3</sup>
	Campata	1Ø24/20cm sup. 1Ø24/10cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	
Piedritti	Nodi	1Ø24/10cm ext. 1Ø24/20cm int.	1+1Ø20/20cm	Ø12/20x40	115kg/m <sup>3</sup>
	Campata	1+1Ø24/20cm	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	
Soletta inferiore	Nodi	1Ø20/20cm sup. 1Ø24/10cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/20x40	120kg/m <sup>3</sup>
	Campata	1Ø20/10cm sup. 1Ø24/20cm inf.	1+1Ø20/20cm	Ø12/40x40	



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

IN32 – Sistemazione idraulica Rio delle Cioppe  
Relazione di calcolo scatolare stradale

COMMESSA  
L371

LOTTO  
00

CODIFICA  
D 26 CL

DOCUMENTO  
IN 3200 002

REV.  
A

FOGLIO  
83 di 83