

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

SL01 Sottovia ciclopedonale via Roma

Relazione di calcolo scatolare

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 2 D 2 6 C L S L 0 1 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per commenti	F. Serrau	Marzo 2020	A. Maran	Marzo 2020	M. Berlinger	Marzo 2020	A. Perego Marzo 2020



File: NB1R02D26CLSL0100001A

n. Elab.:

**INDICE**

1.	INTRODUZIONE .....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	8
4.	MATERIALI .....	10
4.1.	CALCESTRUZZO .....	10
4.2.	ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA .....	10
5.	CODICE DI CALCOLO .....	11
6.	MODELLO DI CALCOLO .....	12
6.1.	GEOMETRIA .....	12
6.2.	MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA .....	14
7.	ANALISI DEI CARICHI .....	15
7.1.	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (PP).....	15
7.2.	CARICHI PERMANENTI PORTATI (PERM-BALLAST) .....	15
7.3.	SPINTA DEL BALLAST SUI PIEDRITTI (SPBSX E SPBDX).....	15
7.4.	SPINTA DEL BALLAST SUI PIEDRITTI (SPTSX E SPTDX) .....	16
7.5.	CARICHI FERROVIARI SOPRASTANTI (ACC1/ACC2) .....	19
7.6.	SPINTA SUI PIEDRITTI PRODOTTA DAL SOVRACCARICO <i>LM71</i> (SASX E SADX / SASXLM71).....	22
7.7.	AZIONE DI FRENATURA E AVVIAMENTO (AVV) .....	24
7.1.	AZIONE LATERALE (SERPEGGIO) .....	24
7.2.	AZIONI INDOTTE DALLE VARIAZIONI TERMICHE (TERM) .....	25
7.3.	RITIRO (RITIRO).....	25
7.4.	AZIONI SISMICHE .....	27
7.4.1.	<b>Sovraspinta sismica del terreno (SISX)</b> .....	29
7.4.2.	<b>Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)</b> .....	31

8.	COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI.....	34
9.	VERIFICHE .....	42
9.1.	VERIFICHE A FLESSIONE.....	42
9.1.1.	Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro.....	42
9.1.2.	Sezione 2 – mezzeria soletta superiore.....	48
9.1.3.	Sezione 3 - piedritto testa .....	52
9.1.4.	Sezione 4 - piedritto piede .....	56
9.1.5.	Sezione 5 - piedritto mezzeria.....	60
9.1.6.	Sezione 6 - soletta inferiore appoggio.....	65
9.1.7.	Sezione 7- soletta inferiore mezzeria.....	69
9.2.	VERIFICA A DEFORMAZIONE SOLETTA SUPERIORE .....	73
9.3.	RIEPILOGO ARMATURE – SCATOLARE .....	75
10.	VERIFICA LOCALE NODO SOLETTA SCATOLARE -MURO DI RECINZIONE .....	77
10.1.	VERIFICA SEZIONE 1.....	79
10.2.	VERIFICA SEZIONE 2.....	80
10.3.	VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA SOTTOPASSO.....	82
10.3.1.	Verifica flessionale - armatura longitudinale.....	85
10.4.	INCIDENZA ARMATURE MURO .....	85

## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'appalto 2 degli interventi di raddoppio della linea ferroviaria Lecco -Brescia nella tratta fra Ponte San Pietro, Bergamo e Montello è prevista la realizzazione di un nuovo sottovia ciclopedonale al km 5+182 di progetto, in sostituzione dell'attuale passaggio a livello di via Roma a Curno.

Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del monolite che realizza il sottopasso pedonale.

La sezione stradale di progetto avrà una larghezza di 3 m.

Visto che l'andamento altimetrico della viabilità prevede un punto di minimo in corrispondenza del sottovia, è necessario prevedere un impianto di sollevamento per le acque di piattaforma.

Lo scatolare in esame ha uno sviluppo longitudinale complessivo pari a circa 33.5 m , verrà realizzato in opera con scavo a cielo aperto.

Le dimensioni interne sono  $B \times H = 3.06$  (3.00 m al netto della finitura a matrice in parete) x 3.40 m. La soletta superiore ha uno spessore di 0.5 m, i piedritti hanno uno spessore di 0.5 m e la piastra di fondazione ha uno spessore costante di 0.60 m. Il ricoprimento dello scatolare è pari a circa 1.1 m.

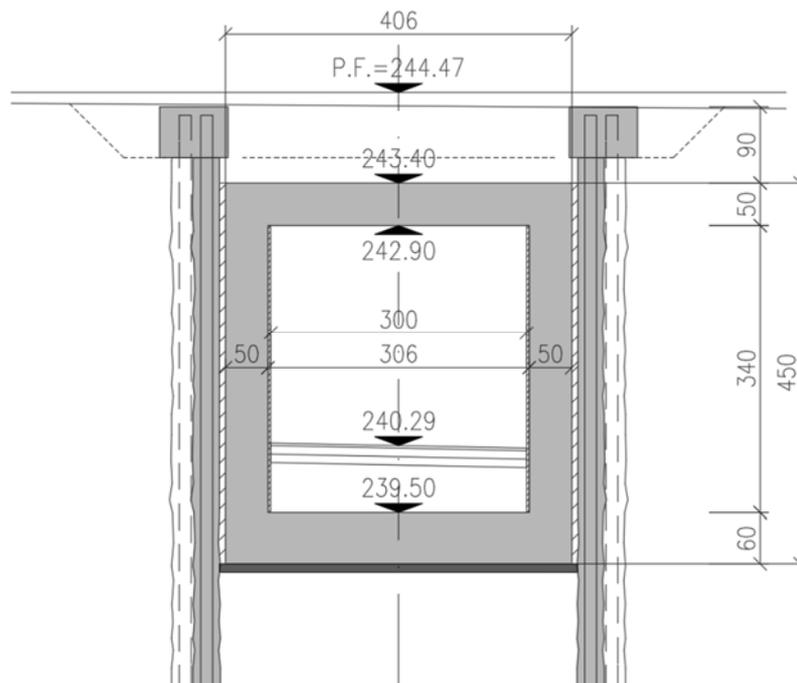


Figura 1: Sezione trasversale

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

**SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA  
RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100001	A	5 di 87

Al fine di garantire l'accesso alle varie proprietà presenti lungo il lato est di via Roma, si è esteso lo sviluppo dello scatolare oltre l'ingombro della sede ferroviaria.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b>  APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 2. NORMATIVA 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 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”.
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali”.
- UNI EN 1998-1:2013 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 2 – “Ponti e strutture” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 3 – “Corpo stradale” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – “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

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b></p> <p>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</p>												
<p><b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>02</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0100001</td> <td>A</td> <td>7 di 87</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26	CLSL0100001	A	7 di 87
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26	CLSL0100001	A	7 di 87								

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 stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

### 3. PARAMETRI GEOTECNICI

#### Terreno di fondazione

Nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l'opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: L1-S11 e PNBGF1007. La falda è stata rilevata ad una profondità media di -20 m dal piano campagna.

Strato	Profondità media	Profondità media	Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
Ug3	0	8	A(L), A,G	Argilla limosa e argilla con ghiaia
Ug1	8	25	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia
Ug3	25	30	A(L), A,G	Argilla limosa e argilla con ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
Ug3	19	0.60	24	0	8 - 10	20 - 30	50 - 75	3 - 4	5 - 7	0.25	1.00E-10
Ug1	20	0.426	35	0	-	120 - 150	300 - 375	25 - 30	32 - 40	0.25	1.00E-06
Ug3	19	0.60	24	0	150	150	375	30	50	0.25	1.00E-10

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità.
- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$ , per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .
- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di "primo carico" (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

E' stata condotta un'indagine MASW12, vicino al luogo dove sarà realizzato il monolite, che ha dato questi risultati:

Prova	Vs(eq)	H(eq)	Suolo
<b>R012</b>	462	21	B

Sigla Prova	V <sub>seq</sub> (m/sec)	Categoria suolo
M1	522	B
M2	427	B
M3	462	B
M4	443	B
M5	445	B
M6	405	B
M7	432	B
M8	365	B
M9	359	C
M10	414	B
M11	387	B
M12	412	B
M13	464	B
M14	429	B
M15	555	B
M16	429	B



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 4. MATERIALI

### 4.1. Calcestruzzo

- SOLETTA SUPERIORE

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.13 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = : XC4

Calcestruzzo tipo C1

Copriferro minimo = 50mm

- PIEDRITTI

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.13 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = : XC4

Calcestruzzo tipo C2

Copriferro minimo = 50mm

- FONDAZIONE

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = XC2

Calcestruzzo tipo G2

Copriferro minimo = 50 mm

- MAGRONE:

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

### 4.2. Acciaio da armatura ordinaria

Acciaio tipo B450 C

Resistenza di calcolo  $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 391 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_s = 200 \text{ GPa}$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b>  APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 5. CODICE DI CALCOLO

Il dimensionamento dell'opera è stato ottenuto mediante modellazione ad elementi finiti monodimensionali tipo "beam" tramite il programma di calcolo "Straus7".



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 centigradi °
- angoli: gradi sessadecimali.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 6. MODELLO DI CALCOLO

### 6.1. Geometria

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L <sub>tot</sub>	4.06	m
Larghezza utile	L <sub>int</sub>	3.06	m
Larghezza interasse	L <sub>a</sub>	3.52	m
Spessore soletta superiore	S <sub>s</sub>	0.5	m
Spessore piedritti	S <sub>p</sub>	0.5	m
Spessore fondazione	S <sub>f</sub>	0.6	m
Altezza totale	H <sub>tot</sub>	4.5	m
Altezza libera	H <sub>int</sub>	3.4	m
Spessore pavimentazione stradale superiore	H <sub>p</sub>	0.00	m
Spessore medio del ballast (armamento ferroviario)	H <sub>b</sub>	1.0	m
Spessore rinterro superiore	H <sub>r</sub>	0	m

Le analisi per il calcolo delle sollecitazioni agenti sono state condotte su una porzione di struttura di 1.00 m.

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).

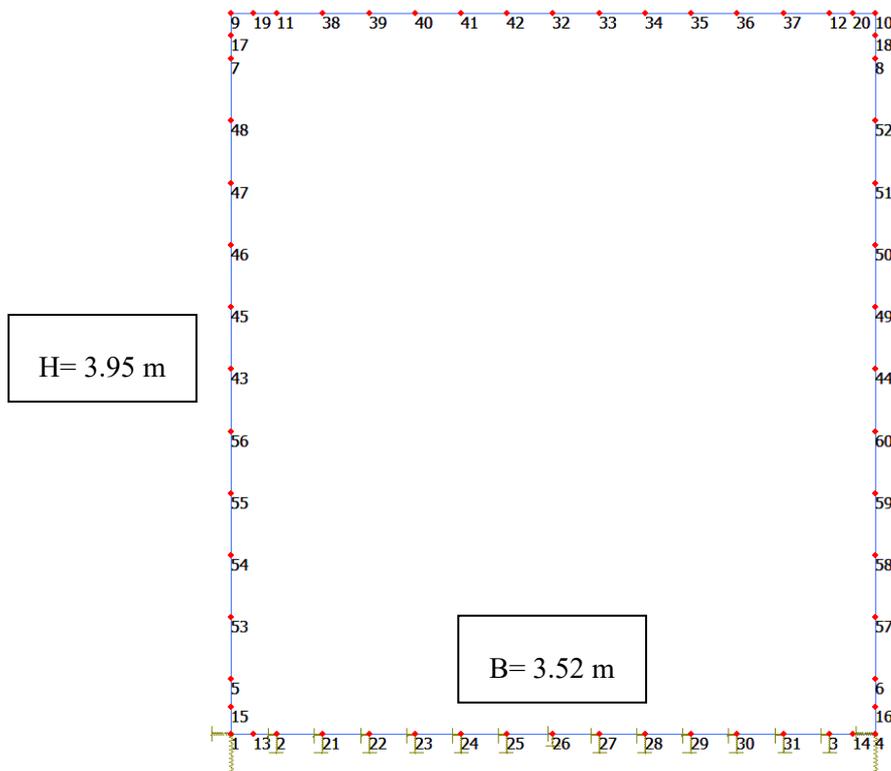
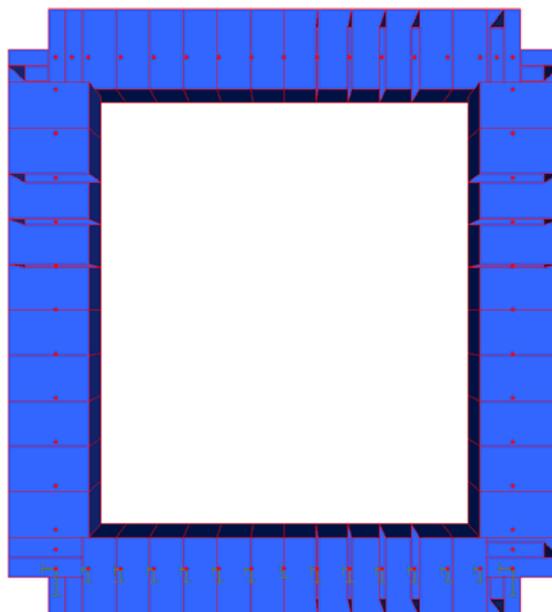


Figura 2: Numerazione dei nodi nel modello strutturale



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

Figura 3: Vista estrusa del modello strutturale

## 6.2. Modellazione dell'interazione suolo-struttura

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_s = 10000 \text{ kN/m}^3$ , in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

Secondo le indicazioni contenute nel manuale di progettazione RFI, la soletta inferiore viene suddivisa in 14 elementi di pari lunghezza, ossia 15 nodi ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali.

Molle centrali

$$K_{\text{centrale}(26)} = K_s * (L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 14 = 2500 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_4 = 2 * K_s * [(L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 14/2 + (L_p/2)] = 8929 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 2,21,22,23,24,25; 27,28,29,30,31,3 come da letteratura si assumono:

$$K_2 = K_{21} = K_{22} = K_{23} = K_{24} = K_{25} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 3750 \text{ kN/m}$$

$$K_{27} = K_{28} = K_{29} = K_{30} = K_{31} = K_3 = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 3750 \text{ kN/m}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

Per quanto riguarda i requisiti della STI INFRA al §4.2.7.1, lo sghembo non viene calcolato perché non dimensionante. Inoltre per quanto riguarda le azioni previste ai §§ 4.2.7.1.3 a 4.2.7.1.6 della STI: frenatura / avviamento considerati al §7.7; serpeggio non considerato perché non dimensionante; forze centrifughe assenti perché tracciato rettilineo.

### 7.1. Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal programma in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

### 7.2. Carichi permanenti portati (PERM-BALLAST)

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ballast compresa la traversina pari a  $S_{ball} = 1.10 \text{ m}$  con peso di unità di volume  $\gamma_{bal} = 18.00 \text{ kN/m}^3$  e uno spessore di massetto di 8 cm con peso di unità di volume pari a  $25 \text{ kN/m}^3$ . Il carico uniformemente distribuito verticale agente sulla soletta superiore corrisponde a  $(0.08 \cdot 25 + 1.10 \cdot 18) = 21.80 \text{ KN/m}$  ed in corrispondenza dei nodi 9 e 10, la parte di carico del ballast verticale esercitata su 1/2 spessore dei piedritti è pari a 5.45 KN.

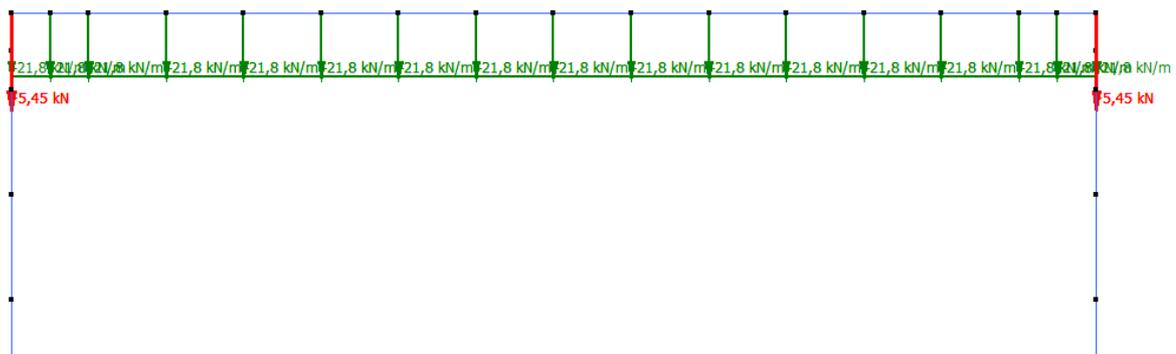


Figura 4: Carico permanente verticale ballast

### 7.3. Spinta del Ballast sui piedritti (SPBSX e SPBDX)

Ai lati dello scatolare si ha un carico orizzontale uniformemente distribuito sui piedritti dovuto alla spinta del ballast di intensità  $p_b = k_0 \cdot q_{ballast} = 0.6 \cdot (1.1 \cdot 18) = 11.88 \text{ kN/m}$ .

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1,9 e 10,4 la parte di spinta del ballast esercitata su 1/2 spessore della soletta sup. e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

Spinta semi spessore sol. sup.

$$F_{b_{27,29}} = 0.5 \cdot (101.88 + 11.88) \cdot (0.50\text{m}/2) = 2.95 \text{ kN}$$

Spinta semi spessore sol. inf.

$$F_{b_{25,28}} = 0.5 \cdot (11.88 + 11.88) \cdot (0.60\text{m}/2) = 3.56 \text{ kN}$$

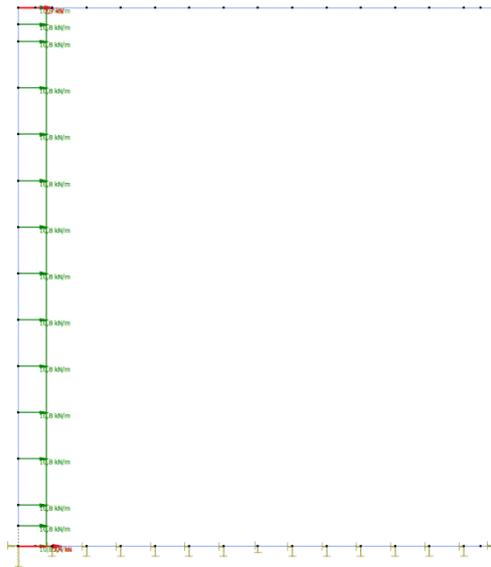


Figura 5 – Spinta del ballast sul piedritto di sinistra (analogo per quello di destra)

#### 7.4. Spinta del Ballast sui piedritti (SPTSX e SPTDX)

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 24^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma_r = 19 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula:

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' = 0.593$$

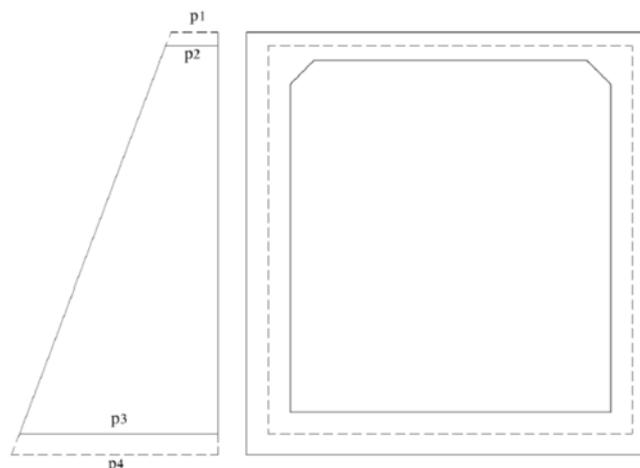


Figura 6: Spinte del terreno

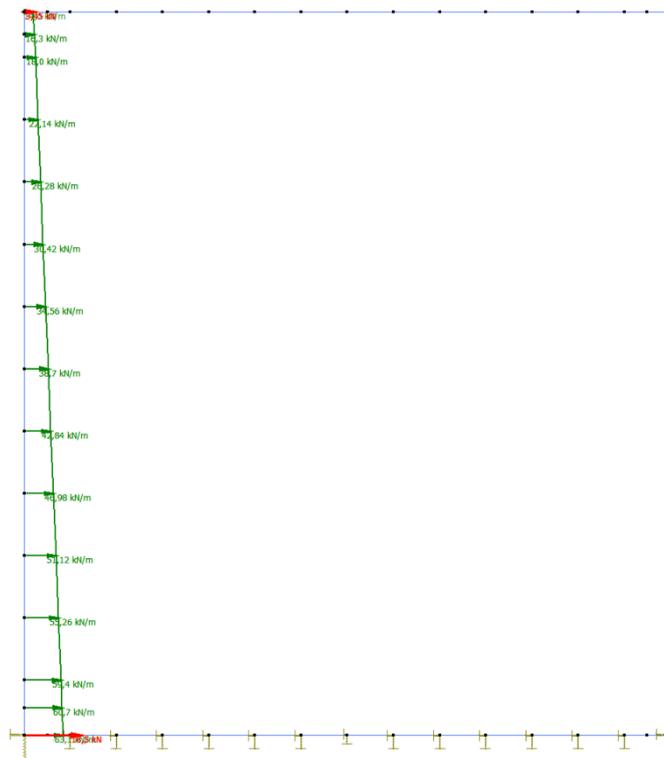
Le spinte aggiuntive ai lati del monolite sono dovute solo al terreno. La falda è bassa e non incide sulla spinta.

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

Cond. STR			
$p_1 =$	12.4	kN/m	Pressione estradosso soletta superiore
$p_2 =$	15.2	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
$p_3 =$	59.7	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
$p_4 =$	63.1	kN/m	Pressione intradosso soletta inferiore

In più, viene aggiunto, come carico concentrato nei nodi di estremità del piedritto la parte di spinta del terreno esercitata su metà spessore della soletta superiore e quello agente su metà spessore della soletta inferiore.

Carico concentrato sui nodi 1,9 e 4,10				
Nodi sup.	$1/2 * (p_1 + p_2) * S_s/2$	3.45	kN	S,pinta semispessore soletta superiore
Nodi inf.	$1/2 * (p_3 + p_4) * S_f/2$	18.43	kN	Spinta semispessore soletta inferiore



	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b></p> <p>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</p>					
<p><b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b></p>	<p>COMMESSA NB1R</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 26</p>	<p>DOCUMENTO CLSL0100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 18 di 87</p>

*Figura 7: Spinte delle terre sul piedritto sinistro (stesso per piedritto destro)*

### 7.5. Carichi ferroviari soprastanti (ACC1/ACC2)

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

In conformità alla normativa di riferimento (N.T.C.2018 §5.2.2.2.1), si prendono in considerazione i seguenti carichi verticali per il treno di carico LM 71:

- quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60m;
- carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

Stiamo considerando 1m di profondità della striscia di telaio quindi in questo 1m dobbiamo considerare solo 1 carico  $Q_{vk} = 250$  kN.

Il modello di carico LM71 è costituito dalla presenza del locomotore con gli assi da 250 kN disposti ad interasse longitudinale pari ad 1.60 m e da un carico distribuito di 80 KN/m. Il coefficiente di adattamento è pari a 1.1.

$Q_{vk}=250$  kN

$q_{vk}= 80$  kN/m

$\alpha = 1.1$

Il carico complessivo  $Q$  agente su una striscia di lunghezza unitaria vale pertanto, incrementato del coefficiente dinamico e diviso sulla larghezza di diffusione trasversale:

$$Q= 250.00 \text{ kN}$$

$$Q^*=250/1.6=156 \times 1.1=172 \text{ kN/m}$$

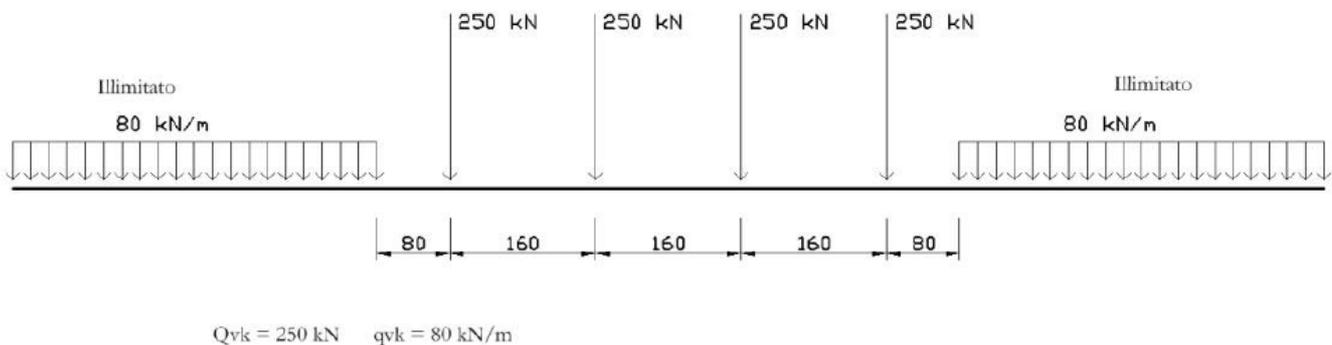
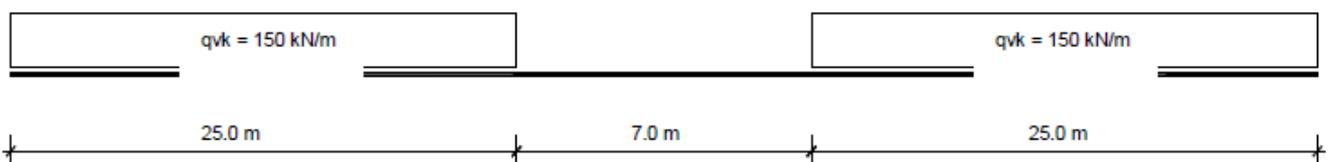


Figura 8: Treno di carico LM71



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

Figura 9: Treno di carico SW/2

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM71 rispetto al carico dovuto al treno SW/2.

I valori dei suddetti carichi devono essere amplificati mediante un coefficiente di adattamento “ $\alpha$ ”, variabile in funzione della tipologia di infrastruttura, e un coefficiente dinamico “ $\Phi$ ”, che tiene conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al paragrafo 5.2.2.3.3 tabella 5.2II “Effetti dinamici” del DM08.

Poiché lo scatolare ha una luce inferiore a 8m  $\Phi_3 = 1.35$

Tab. 5.2.II - Lunghezza caratteristica  $L_{\phi}$

Caso	Elemento strutturale	Lunghezza $L_{\phi}$
<b>TRAVI PRINCIPALI</b>		
5	5.1 Travi e solette semplicemente appoggiate (compresi i solettoni a travi incorporate)	Luce nella direzione delle travi principali
	5.2 Travi e solette continue su n luci, indicando con: $L_m = 1/n \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$	$L_{\phi} = k \cdot L_m$ dove: $n = 2 - 3 - 4 - \geq 5$ $k = 1,2 - 1,3 - 1,4 - 1,5$
	5.3 Portali:	
	- a luce singola	da considerare come trave continua a tre luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti e la lunghezza del traverso)
	- a luci multiple	da considerare come trave continua a più luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti terminali e la lunghezza di tutti i traversi)
	5.4 Solette ed altri elementi di scatolari per uno o più binari (sottovia di altezza libera $\leq 5,0$ m e luce libera $\leq 8,0$ m); Per gli scatolari che non rispettano i precedenti limiti vale il punto 5.3, trascurando la presenza della soletta inferiore e considerando un coefficiente riduttivo del $\Phi$ pari a 0,9, da applicare al coefficiente $\Phi$	$\Phi_2 = 1,20$ ; $\Phi_3 = 1,35$
	5.5 Travi ad asse curvilineo, archi a spinta eliminata, archi senza riempimento.	metà della luce libera
5.6 Archi e serie di archi con riempimento	due volte la luce libera	
5.7 Strutture di sospensione (di collegamento a travi di irrigidimento)	4 volte la distanza longitudinale fra le strutture di sospensione.	
<b>SUPPORTI STRUTTURALI</b>		
6	6.1 Pile con snellezza $\lambda > 30$	Somma delle lunghezze delle campate adiacenti la pila
	6.2 Appoggi, calcolo delle tensioni di contatto al di sotto degli stessi e tiranti di sospensione	Lunghezza degli elementi sostenuti

Il coefficiente di adattamento, invece, viene assunto pari a 1.10, in accordo alla tabella 2.5.1.4.1-1 del succitato Manuale di progettazione delle opere civili.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

DIFFUSIONE DIREZIONE TRASVERSALE		
hballast sotto traversa	0.70	m
hmassetto	0.08	m
hmetàsoletta	0.25	m

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

Diffusione del carico in senso trasversale		
$L_d = L_t + ([H_b/4 + H_m / 2 + S_s/2] * 2)$	3.41	m

dove  $L_t$  indica la lunghezza della traversa pari a 2,40 m.

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

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate		
$Q_{vk} = (4*250/6.40)*\alpha*\Phi_3/L_d$	68.04	kN/m <sup>2</sup>
Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		
$q_{vk} = (80*\alpha*\Phi_3)/L_d$	34.84	kN/m <sup>2</sup>



Figura 10: Carichi Treno LM71 condizione Momento massimo ACC1

## 7.6. Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico LM71 (SASX e SADX / SASXLM71)

Carico distribuito (80 kN/m)-SASX , SADX		
$q_h=(80*\alpha/L_d)*K_0$	15.3	kN/m
Carico puntuale ripartito (4*250/6.40 kN/m)-SASXLM71		
$Q_h=[4*250*\alpha/(L_d*6.40)]*K_0$	29.9	kN/m

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 9,10 e 1,4 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta superiore e inferiore:

Nodi sup. (SASX , SADX) sui nodi 9, 10		
$q_h * S_s / 2$	3.82	kN
Nodi sup. (SASXLM71) sui nodi 9 , 10		
$Q_h * S_s / 2$	8.97	kN

Nodi inf (SASX , SADX) sui nodi 1 , 4		
$Q_h * S_s / 2$	3.82	kN
Nodi inf (SASXLM71) sui nodi 1 e 4		
$Q_h * S_f / 2$	8.97	kN

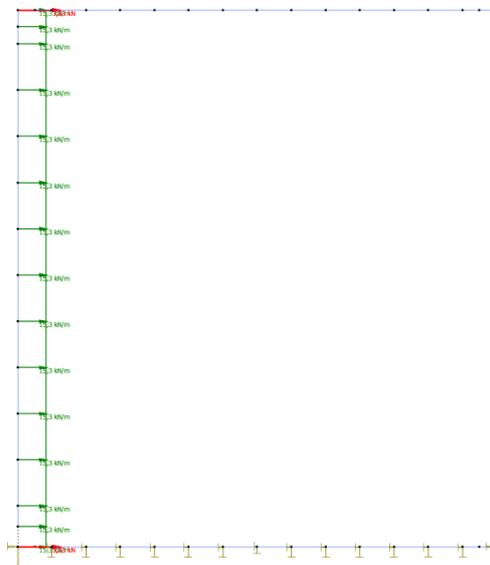


Figura 11: Spinta dal carico accidentale distribuito nel piedritto sinistra(stesso per piedritto destra)

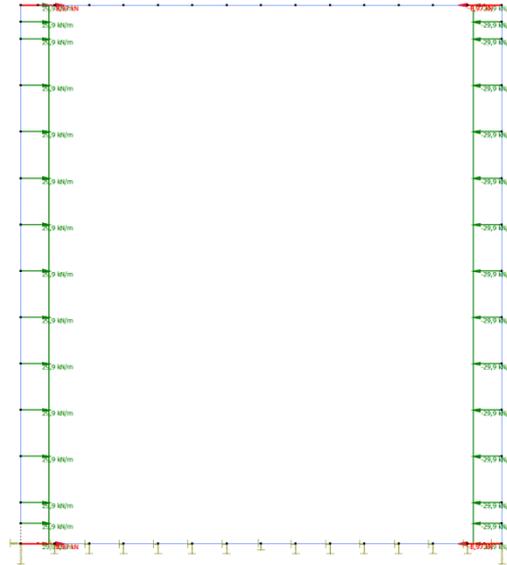


Figura 12: Spinta dal carico accidentale puntuale nel piedritto sinistra

### 7.7. Azione di frenatura e avviamento (AVV)

La forza di frenatura del modello SW/2 agente su tutta la larghezza dello scatolare è pari a 35 kN/m, mentre quella di avviamento del modello LM71 è di 33 kN/m. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento. Distribuendo tale forza sulla larghezza di diffusione del carico si avrà:

$A_{VV}$	33	kN/m
$Q_{AV}=A_v/L_d$	9.68	kN/m <sup>2</sup>

Il valore viene considerato in asse alla soletta superiore.



Figura 13: AVV

### 7.1. Azione laterale (serpeggio)

Per quanto riguarda l'azione di serpeggio esplititata nella STI INFRA al §4.2.7.1.4, non viene calcolato perché non dimensionante.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b>  APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

### 7.2. Azioni indotte dalle variazioni termiche (TERM)

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

La variazione termica a farfalla applicata alla soletta di copertura è pari a  $\Delta T = +5^{\circ}\text{C}$ .

L'azione è applicata alla soletta superiore dello scatolare.

### 7.3. Ritiro (RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\varepsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 14-01-2008.

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

Si riporta qui di seguito la determinazione dell'effetto di ritiro / fluage sulla sola soletta superiore:

**Dati:**

Resist. Carat. a compr. cilindrica a 28gg, $f_{ck}$ :	33,2	Mpa
Tempo "t" valutazione resistenza:	28	gg
Classe Cemento (Rapid, Normal, Slow):	<b>N</b>	"R,N,S"
Aggregati:(Quarzite,Calcere, Arenaria, Basalto):	<b>Q</b>	"Q,C,A,B"
Umidità relativa percentuale RH:	60	%
Area sezione trasversale di calcestruzzo $A_c$ :	5000	cm <sup>2</sup>
Perimetro a contatto con l'atmosfera "u":	100	cm
Altezza totale elemento:	4000	mm

**Valori calcolati:**

Res. Car. a compres. cubica $R_{ck}$ :	40,00	MPa
Resist. media a compr. cilindrica a 28gg, $f_{cm}$ :	41,20	Mpa
Resist. media a trazione a 28gg, $f_{ctm}$ :	3,10	MPa
$f_{ctk,0.05} =$	2,17	MPa
$f_{ctk,0.95} =$	4,03	MPa
Res. media a Comp. Cil. Al tempo "t": $f_{cm}(t)$	41,20	MPa
Res. media a Traz. Cil. Al tempo "t": $f_{ctm}(t)$	3,10	MPa
$E_{cm}$ (modulo secante tra 0 e 0,4 $f_{cm}$ ) a 28gg:	33642,78	MPa
$E_{cm}$ (modulo secante tra 0 e 0,4 $f_{cm}$ ) a "t" gg:	33642,78	MPa
Età "t <sub>0</sub> " corretta del cls al momento della messa in carico (da scheda specifica):	30,00	gg
$\varphi(t_0,inf)$ :	2,930	
Res. Media a traz. Per flessione: $f_{ctm,fl}$	3,10	MPa
ritiro totale $\varepsilon_{cs}(t_0,inf)$ :	3,248E-04	

Coefficiente di viscosità  $\varphi(t, t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t, t_0)$

$f_{cm} = 41,20$	Mpa	$\alpha_1 = 0,8921$	$\alpha_2 = 0,9679$	$\alpha_3 = 0,9217$
$h_0 = 2A_c/u = 1000$	mm			
$t_0 = 1,00$	gg		$\varphi_{RH} = 1,3133$	
$t = 36500$	gg		$\beta(f_{cm}) = 2,6173$	
			$\beta(t_0) = 0,9091$	
		$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) =$	<b>3,1249</b>	$\beta_H = 1382,5$
		$\varphi_{0/1,05} =$	<b>2,9761</b>	
		$\varphi_0(t)/1.05 =$	<b>2,9431</b>	

$t_s$	<b>1</b>
$h_0$	1000
età corretta =	30,00
$t_0$	1
$t_{00}$	36500
$\beta_{ds} =$	0,9665
$\varepsilon_{ds} =$	<b>281,3</b>
$\beta_{as} =$	0,81873
$\varepsilon_{as} =$	<b>47,5</b>
$\varepsilon_c =$	<b>328,8</b>
$\varphi_0(t)/1.05 =$	<b>2,9431</b>
$\delta T_{eq} =$	<b>8,3</b>

Dove la variazione termica equivalente è calcolata con

$$\Delta T_{eq} = \alpha \varepsilon_c / (1 + \varphi_0/1.05) = 8.3^\circ\text{C}$$

#### 7.4. Azioni sismiche

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

- Vita nominale dell'opera  $V_N = 50$  anni

- Classe d'uso dell'opera II Cu = 1.0
- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.683026°e Long. = 9.767658°)

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,028	2,447	0,197
50	0,036	2,487	0,213
475	0,102	2,426	0,272
975	0,135	2,454	0,278

dove:

$T_R$  → tempo di ritorno;

$a_g$  → 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;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

Tr (anni)	amax
30	0,034
50	0,044
475	0,123
975	0,162

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:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

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

dove :

- $a_{\max}$  =  $S_s \cdot S_t \cdot a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $g$  = accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

Tr (anni)	$K_h$	$K_v$
30	0,034	0,017
50	0,044	0,022
475	0,123	0,062
975	0,162	0,081

#### 7.4.1. Sovraspinta sismica del terreno (SISX)

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 la sovraspinta sismica delle terre vale:

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

$$k_h = \beta_m \times a_{\max} / g = 0,123$$

$$\beta_m = 1 \quad \text{nel caso in esame (struttura che non subisce spostamenti)}$$

$$a_{\max} = (S \times a_g)_{SLV} = 0,123 g$$

Aplico al modello di calcolo :  $\Delta S_E = 9.2 \text{ KN/m}$

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 1 e 9 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

Nodi sup. (SISX) sui nodo 9		
$Q_h * S_s / 2$	2.31	kN

Nodi inf (SISX) sui nodo 1		
$Q_h * S_i / 2$	2.77	kN

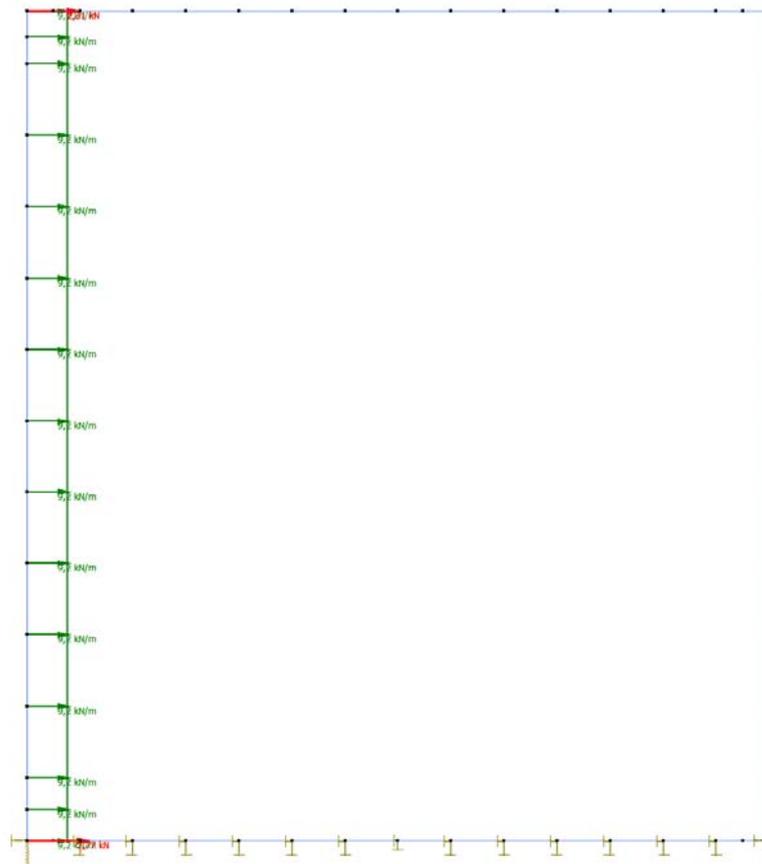


Figura 14: Sovrappinta sismica del terreno

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

#### 7.4.2. Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli. Le masse sismiche sono valutate considerando le azioni dovute al carico ferroviario con coefficiente pari a 0.20 (cfr tab.5.2.V).

Forze inerzia orizzontali		
F <sub>0,ballast</sub>	2,68	kN/m <sup>2</sup>
F <sub>0,sol</sub>	1,54	kN/m <sup>2</sup>
F <sub>0,treno</sub>	1,67	kN/m <sup>2</sup>
F' <sub>h</sub> =F <sub>0, sol,sup,tot</sub>	5.89	kN/m <sup>2</sup>
F'' <sub>h</sub> =F <sub>0,piedritti</sub>	1,54	kN/m <sup>2</sup>

Dove :  $F'_h = F_{o,solettasup,tot} = F_{o,ballast} + F_{o,soletta} + F_{o,treno}$  (dove  $F_{o,treno}$  è stato preso con valore  $\psi$  0.2)

$$F''_h = F_{o,piedritti}$$

Forze inerzia verticali		
F <sub>v,ballast</sub>	1.34	kN/m <sup>2</sup>
F <sub>v,sol</sub>	0.77	kN/m <sup>2</sup>
F <sub>v,treno</sub>	0.84	kN/m <sup>2</sup>
F <sub>v</sub> =F <sub>0, sol,sup,tot</sub>	2.95	kN/m <sup>2</sup>
F'' <sub>h</sub> =F <sub>0,piedritti</sub>	0.77	kN/m <sup>2</sup>

Dove :  $F_{v,solettasup,tot} = F_{v,ballast} + F_{v,soletta} + F_{v,treno}$  (dove  $F_{o,treno}$  è stato preso con valore  $\psi$  0.2)

Per il peso del treno vedi il paragrafo 7.5.

- Le inerzie orizzontali e verticale per il treno ( $F_{v, \text{treno}}$ ;  $F_{o, \text{treno}}$ ) vengono come prodotto dei coefficienti sismici (verticali ed orizzontali) secondo quanto riportato nel Manuale di progettazione RFI Parte II al capitolo “2.12.3.1 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA” a tal proposito il peso del treno è di 46.4 kN/m.

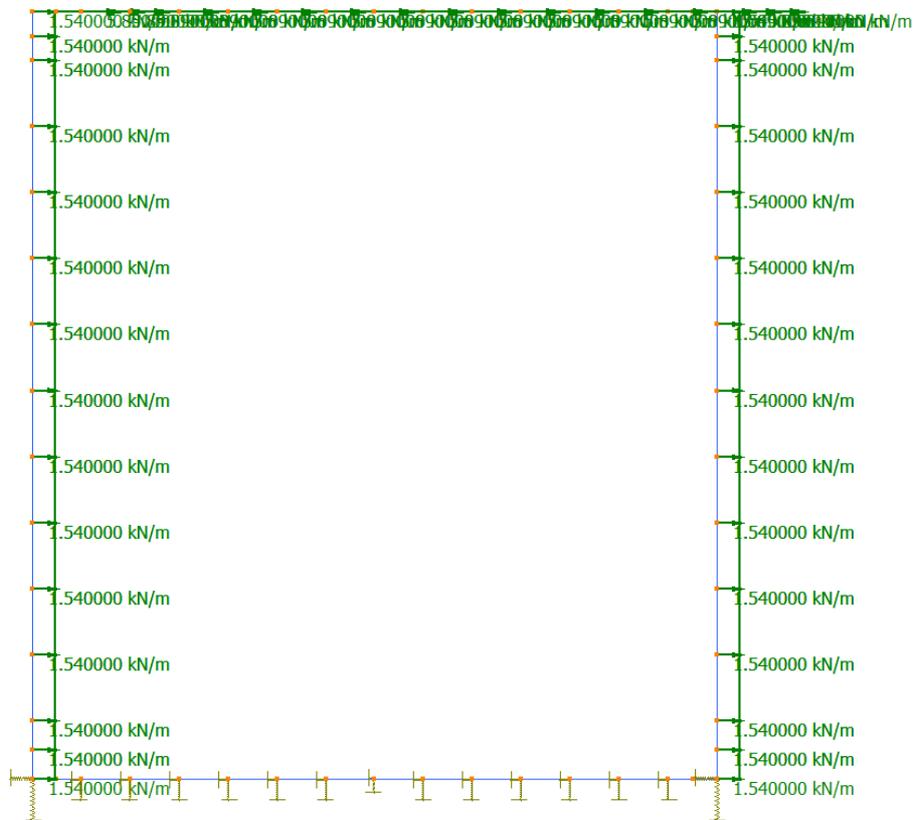


Figura 15: Forza inerziale orizzontale

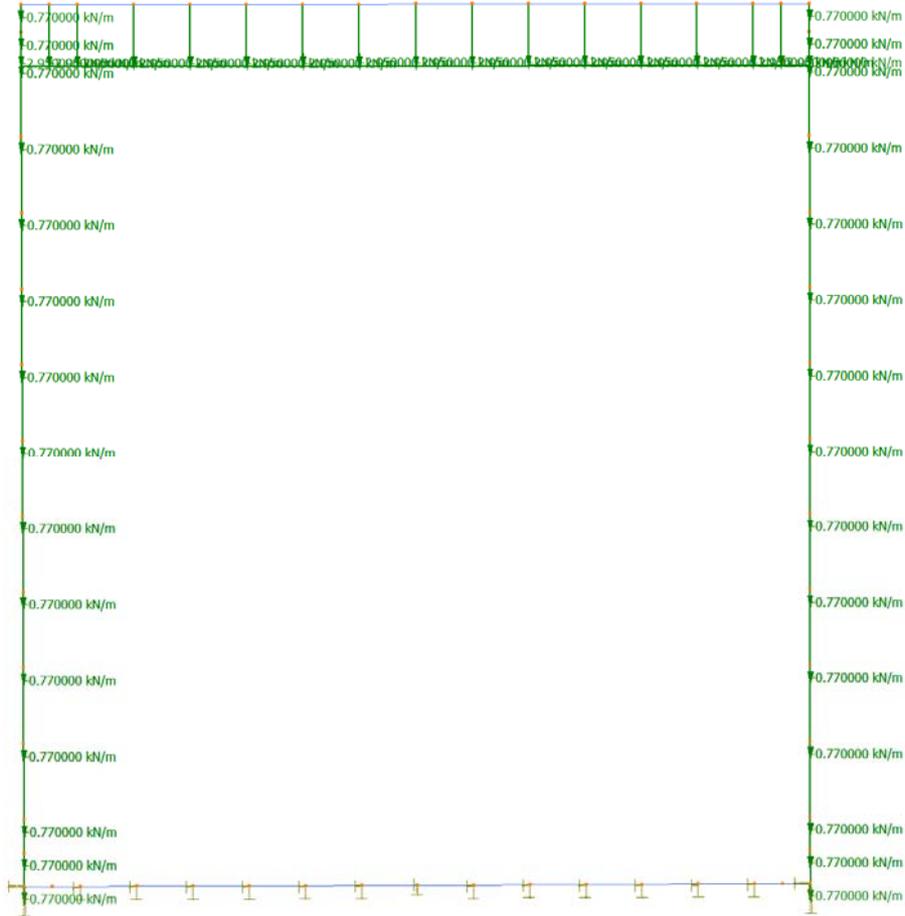


Figura 16: Forza inerziale verticale

## 8. COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

Per i calcoli strutturali dell'opera sono state considerate le seguenti combinazioni di carico:

SLU

	SLU 1	SLU 2	SLU 3	SLU 4	SLU 5	SLU 6	SLU 7	SLU 8	SLU 9
PP	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
PERM-BALLAST	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SPBSX ball	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	1,5
SPBDX ball	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX terr	1	1	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1	1,5
SPTDX terr	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SASX lm71	1	1	1,45	1,45	0	0	0	0	0
SADX lm71	1	1	1	1	0	0	0	0	0
SASXLM71	0	0	0	0	1,45	1,45	0	0	1,16
AVV	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	0	0	1,16
ACC1	1,45	1,45	1,45	1,45	0	0	0	0	0
ACC2	0	0	0	0	1,45	1,45	0	0	1,16
TERM farf -	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	1,2
TERM farf +	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-1,2
TERM unif -	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	1,2
TERM unif +	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-1,2
RITIRO	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,5

SLE

	RARA 1	RARA 2	RARA 3	RARA 4	RARA 5	RARA 6	RARA 7	RARA 8	RARA 9
PP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM-BALLAST	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX ball	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBDX ball	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX terr	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX terr	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SASX lm71	0,8	0,8	0	0	0,6	1	0	0	0
SADX lm71	0,8	0,8	0	0	0,6	1	0	0	0
SASXLM71	0	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0,6
AVV	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0,6
ACC1	0,8	0,8	0	0	0,8	0,8	0	0	0
ACC2	0	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0,6
TERM farf -	0,6	-0,6	0,9	-0,6	0,9	-0,6	0,9	-0,9	1
TERM farf +	-0,6	0,6	-0,9	0,6	-0,9	0,6	-0,9	0,9	-1
TERM unif -	0,6	-0,6	0,9	-0,6	0,9	-0,6	0,9	-0,9	1
TERM unif +	-0,6	0,6	-0,9	0,6	-0,9	0,6	-0,9	0,9	-1
RITIRO	1	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1

SLV

		SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLV 4	SLV 5
1	PP	1	1	1	1	1
2	PERM-BALLAST	1	1	1	1	1

3	SPBSX	1	1	1	1	1
4	SPBDX	1	1	1	1	1
5	STSX	1	1	1	1	1
6	STDx	1	1	1	1	1
7	SASX	0	0	0	0	0
8	SADx	0	0	0	0	0
9	SASxLM71	0,2	0	0,2	0	0
10	AVV	0,2	0,2	0,2	0	0,2
11	ACC1	0	0,2	0	0,2	0,2
12	ACC2	0,2	0	0,2	0	0
13	TERM farf -	0,5	0,5	0	0	0,5
14	TERM farf +	0	0,5	0,5	0	0
15	TERM unif -	0	0,5	0,5	0	0
16	TERM unif +	0,5	0,5	0	0	0,5
17	RITIRO	0	0	0	0	0
18	SISX	1	0,3	1	0,3	1
19	INERZIEH	1	0,3	1	0,3	1
20	SISVER	-0,3	1	-0,3	1	0,3

Di seguito si riportano gli involuipi dei diagrammi delle sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative ai tre stati limite considerati.

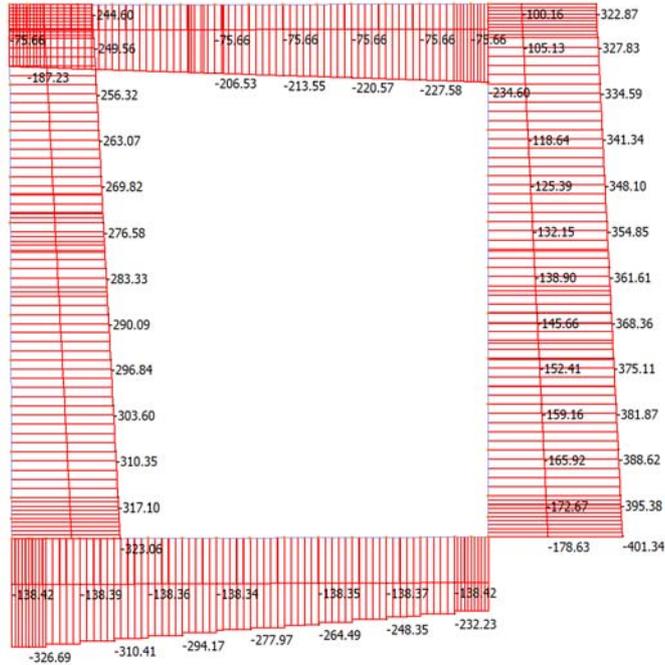


Figura 17: Inviluppo N - SLU

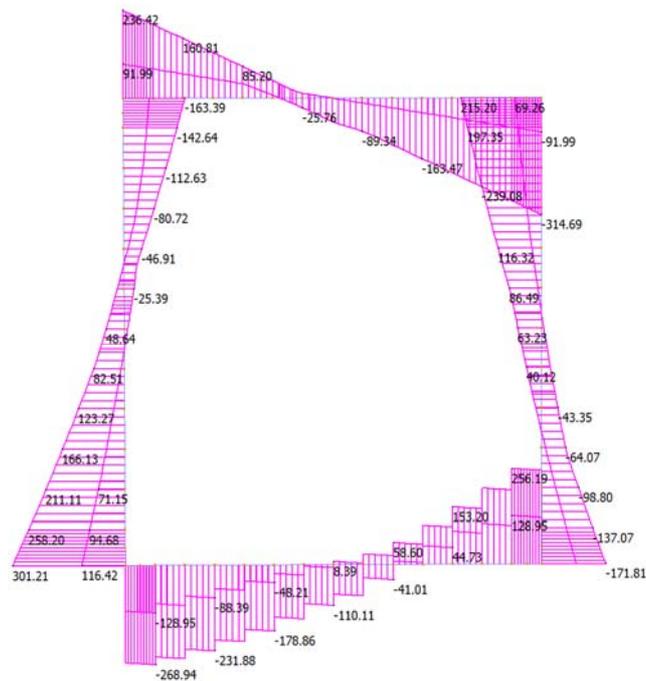


Figura 18: Inviluppo T - SLU

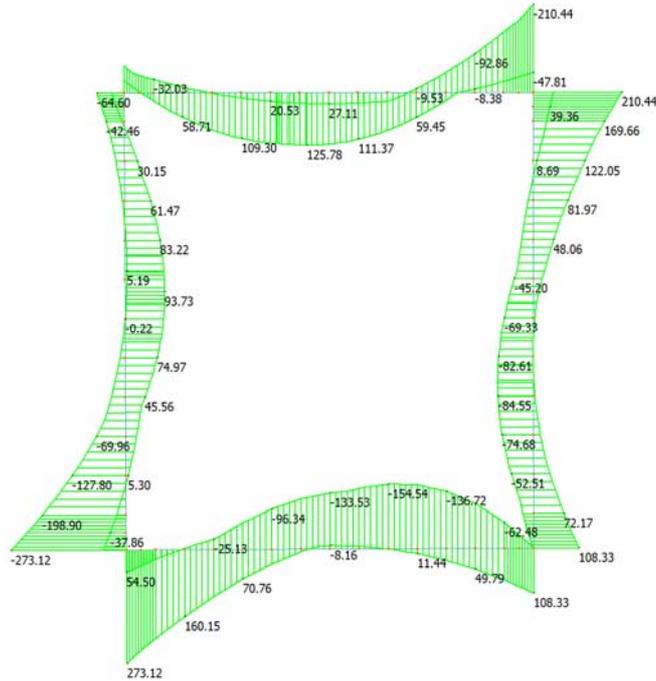


Figura 19: Inviluppo M - SLU

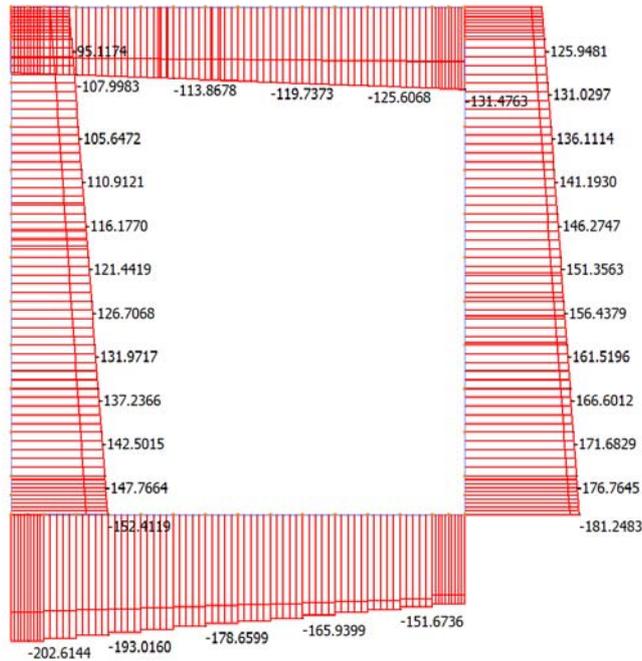


Figura 20: Inviluppo N - SLV

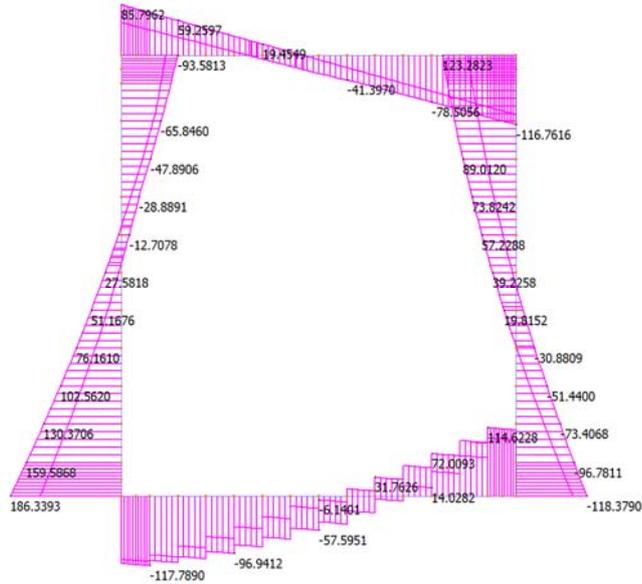


Figura 21: Inviluppo T - SLV

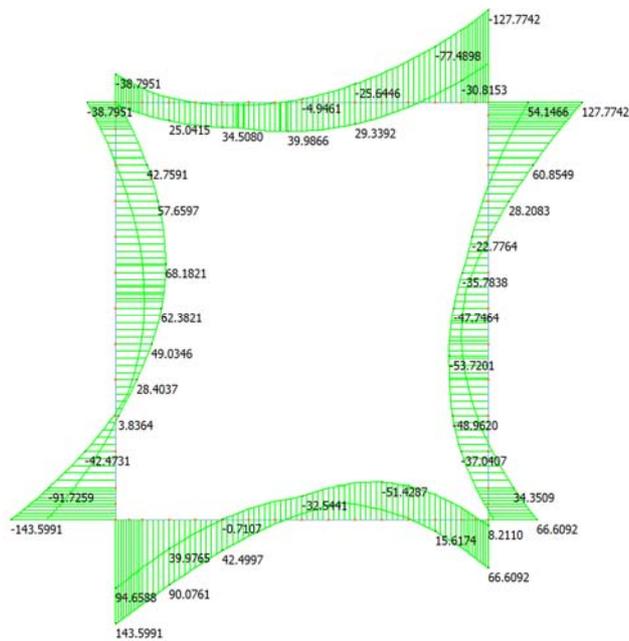


Figura 22: Inviluppo M - SLV



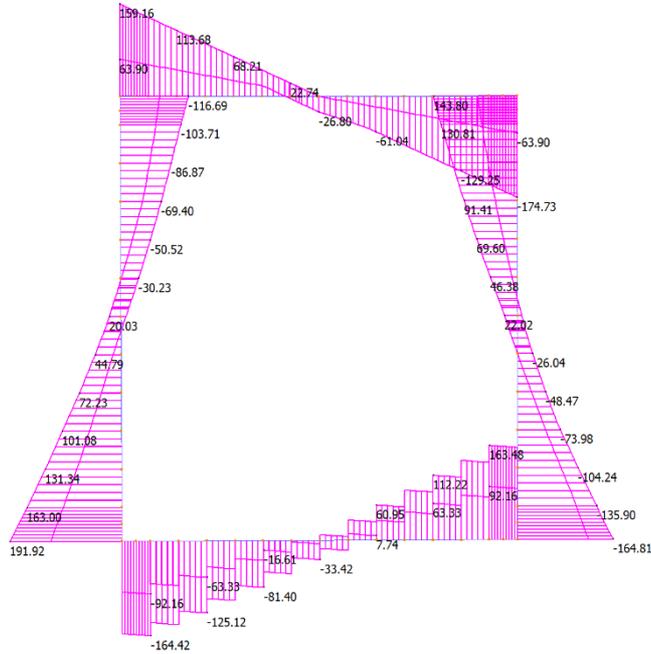


Figura 25: Involuppo V – SLE RARA

Le sezioni verificate sono le seguenti:

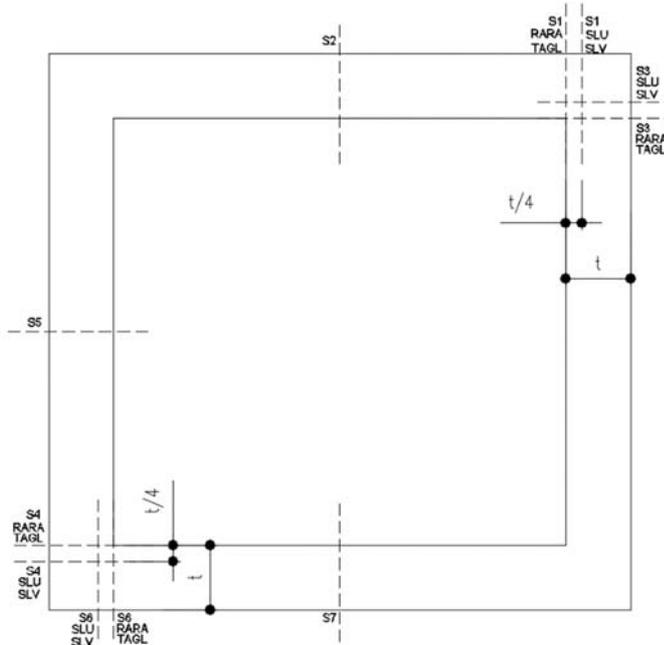


Figura 26: Sezioni di verifica

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 9. VERIFICHE

Le verifiche sono state svolte con il software di calcolo Gelfi VCA-slu per le verifiche di resistenza ultima a flessione e verifica dello stato tensionale del cls e acciaio, le verifiche a taglio e a fessurazione sono state svolte mediante fogli excel.

### 9.1. Verifiche a flessione

#### 9.1.1. Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro

##### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Sezione S1-soletta superiore appoggio destro			
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-76	-277	-173
ENV SLV	-87	-87	-114
ENV RARA	-74	-152	-90

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta appoggio S1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	2262	74
			2	1571	428

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	-173	-90	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] xN  yN

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C	C32/40
ε <sub>su</sub> 67.5 ‰	ε <sub>c2</sub> 2 ‰
f <sub>yd</sub> 391.3 N/mm²	ε <sub>cu</sub> 3.5 ‰
E <sub>s</sub> 200,000 N/mm²	f <sub>cd</sub> 18.13
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> 15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> 0.8
ε <sub>syd</sub> 1.957 ‰	σ <sub>c,adm</sub> 12.25
σ <sub>s,adm</sub> 255 N/mm²	τ <sub>co</sub> 0.7333
	τ <sub>c1</sub> 2.114

M<sub>xRd</sub> -356.6 kN m

σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 18.93 ‰  
d 426 mm  
x 66.47 x/d 0.156  
δ 0.7

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviato

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 mm Col. modello  
 Precompresso

Armatura:  $\phi 24/200$  mm superiore,  $\phi 20/200$  mm inferiore

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta appoggio S1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	2262	74
			2	1571	428

Sollecitazioni

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="-173"/>	<input type="text" value="-90"/>	kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord. [mm] xN  yN

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

Materiali

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	18.13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.7333
		$\tau_{c1}$	2.114

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$   ‰

d  mm

x  x/d

$\delta$

**Comb. SLE RARA - MEZZERIA SOLETTA SUPERIORE**

Rck	<b>40</b>	Mpa	
fck	<b>32</b>	Mpa	
fctm	<b>3.02</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
σfess	2.52	Mpa	
Wid	0.042	m3	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
σG	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale > 0 trazione
Mfess	105	kNm	
Med	<b>76</b>	kNm	
check	<b>NON FESSURATO</b>		
σs	<b>125</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciai (SLE rara)
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciai armatura
αe	6.30		αe = Es/Es
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>500</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>72</b>	mm	Copri ferro (al baricentro armature) armature tese
d	428	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>115.7</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	180.0	mm	
(h-x)/3	128.1	mm	
h/2	250.0	mm	
hceff	128.1	mm	Altezza efficace
Aceff	128,100	mmq	Area efficace
As	<b>1571</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
ρp,eff	0.01226		Percentuale armatura
εsm	0.000358		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
Φ1	<b>20</b>	mm	
n2	<b>0</b>		
Φ2	<b>0</b>	mm	
φ eq	20.00	mm	Diametro equivalente
srmax	447.237	mm	Distanza massima fessura
w	<b>0.16</b>	mm	Ampiezza teorica fessura

**Verifica di resistenza a taglio**

Come armatura a taglio di dispongono spilli  $\phi 12/200 \times 200 \text{ mm}$

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 24$	$= 22.62 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 450$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$22.62 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 277.0 \text{ kN}$$

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.667 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.426$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.005 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 227.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 191.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 227.2 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

**la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio**

**• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.283 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 448.1 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1836.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 448.1 > 277.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.6$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

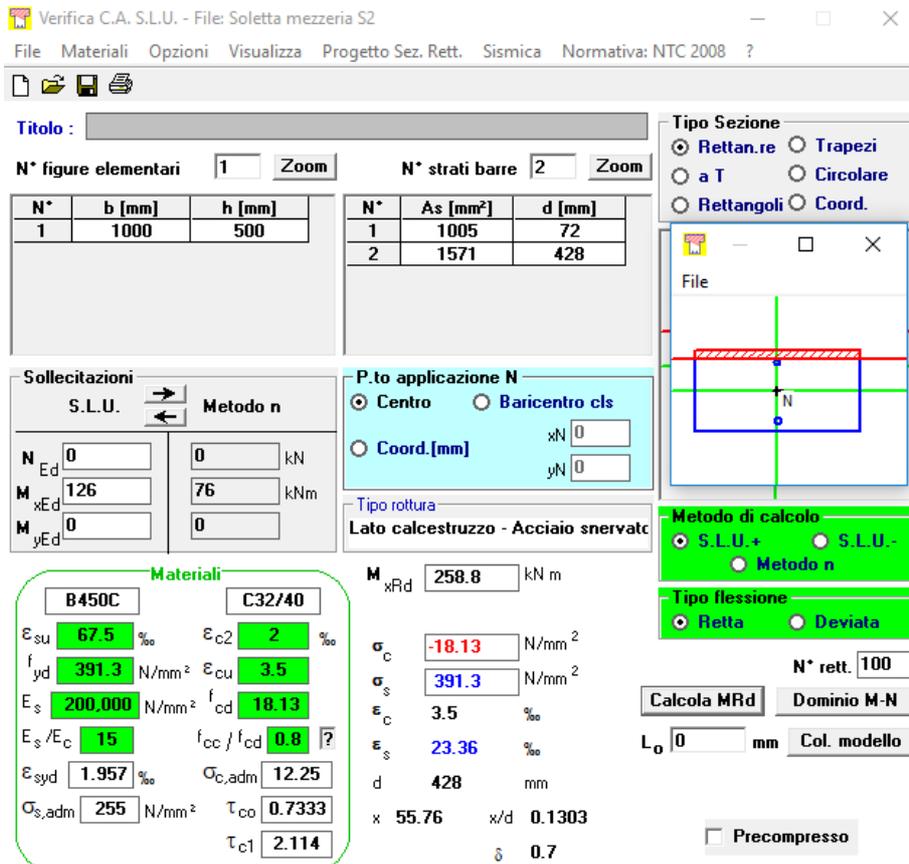
**SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA  
RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100001	A	47 di 87

9.1.2. Sezione 2 – mezzeria soletta superiore

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Sezione S2-soletta superiore mezzeria				
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)				
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	
ENV SLU	-76	-89	126	
ENV SLV	-74	-42	76	
ENV RARA	-74	-43	76	



The screenshot shows the software interface for the verification of a rectangular section. The main window is titled "Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta mezzeria S2". The interface includes a menu bar (File, Materiali, Opzioni, Visualizza, Progetto Sez. Rett., Sismica, Normativa: NTC 2008), a toolbar, and several input panels.

**Titolo:** [Empty field]

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	1005	72
			2	1571	428

**Tipologia Sezione:**  Rettan.re  Trapezi  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

**Tipologia Rottura:**  Centro  Baricentro cls  Coord.[mm] xN: 0 yN: 0

**Tipologia Flessione:**  Retta  Deviata

**Metodo di calcolo:**  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

**Tipologia Flessione:**  Retta  Deviata

**Materiali:**

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm²	$f_{cd}$	18.13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.7333
		$\tau_{c1}$	2.114

**Carichi e Momenti:**

**Sollecitazioni S.L.U. Metodo n:**

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	126	76	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

**P.to applicazione N:**  Centro  Baricentro cls  Coord.[mm] xN: 0 yN: 0

**Tipologia Rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**M<sub>xRd</sub>:** 258.8 kNm

**σ<sub>c</sub>:** -18.13 N/mm²

**σ<sub>s</sub>:** 391.3 N/mm²

**ε<sub>c</sub>:** 3.5 ‰

**ε<sub>s</sub>:** 23.36 ‰

**d:** 428 mm

**x:** 55.76 **x/d:** 0.1303

**δ:** 0.7

**Calcoli:**      Precompresso

Armatura:  $\phi 16/200$  mm superiore,  $\phi 20/200$  mm inferiore

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta mezzeria S2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	1005	72
			2	1571	428

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="126"/>	<input type="text" value="76"/>	kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

B450C		C32/40	
ε <sub>su</sub>	<input type="text" value="67.5"/>	ε <sub>c2</sub>	<input type="text" value="2"/>
f <sub>yd</sub>	<input type="text" value="391.3"/>	ε <sub>cu</sub>	<input type="text" value="3.5"/>
E <sub>s</sub>	<input type="text" value="200.000"/>	f <sub>cd</sub>	<input type="text" value="18.13"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	<input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	<input type="text" value="0.8"/>
ε <sub>syd</sub>	<input type="text" value="1.957"/>	σ <sub>c,adm</sub>	<input type="text" value="12.25"/>
σ <sub>s,adm</sub>	<input type="text" value="255"/>	τ <sub>co</sub>	<input type="text" value="0.7333"/>
		τ <sub>cl</sub>	<input type="text" value="2.114"/>

σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  mm  
x  x/d   
δ

**Verifica**  
N° iterazioni:

Precompresso

**Comb. SLE RARA - MEZZERIA SOLETTA SUPERIORE**

Rck	<b>40</b>	Mpa	
fck	<b>32</b>	Mpa	
fctm	<b>3.02</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
σfess	2.52	Mpa	
Wid	0.042	m3	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
σG	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale >0 trazione
Mfess	105	kNm	
Med	<b>76</b>	kNm	
check	<b>NON FESSURATO</b>		
σs	<b>125</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciaio ( <b>SLE rara</b> )
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciai armatura
αe	6.30		αe = Es/Ec
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>500</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>72</b>	mm	Copri ferro (al baricentro armature) armature tese
d	428	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>115.7</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	180.0	mm	
(h-x)/3	128.1	mm	
h/2	250.0	mm	
hceff	128.1	mm	Altezza efficace
Aceff	128,100	mmq	Area efficace
As	<b>1571</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
pp,eff	0.01226		Percentuale armatura
εsm	0.000358		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
Φ1	<b>20</b>	mm	
n2	<b>0</b>		
Φ2	<b>0</b>	mm	
φ eq	20.00	mm	Diametro equivalente
srmax	447.237	mm	Distanza massima fessura
w	<b>0.16</b>	mm	Ampiezza teorica fessura

**Verifica di resistenza a taglio**

Come armatura a taglio di dispongono spilli  $\phi 12/400 \times 400 \text{ mm}$

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 20$	$= 15.71 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 450$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$15.71 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0 \text{ kN}$        $V_{ed} = 89.0 \text{ kN}$

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1.667 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0.426$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$        $\rho_1 = 0.003 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 201.2 \text{ kN};$       (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 191.7 \text{ kN}$ )

$V_{Rd} = 201.2 \text{ kN}$  valore di calcolo

*la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio*

**• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$\theta = 45.0$  ° inclinaz. bielle cls      angolo ammissibile  
 $\alpha = 90.0$  ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio (staffatura):

$A_{sw}/s =$  staffe  $\emptyset 12$  mm con n° bracci (trasv)       $2.5$       passo  $40$  cm       $= 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha$        $V_{Rsd} = 112.0 \text{ kN}$

$f_{cd} = 9.07$  MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.000$  coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha)$        $V_{Rcd} = 1836.1 \text{ kN}$

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$        $V_{Rd} = 112.0 > 89.0 \text{ kN}$       c.s. = 1.3

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

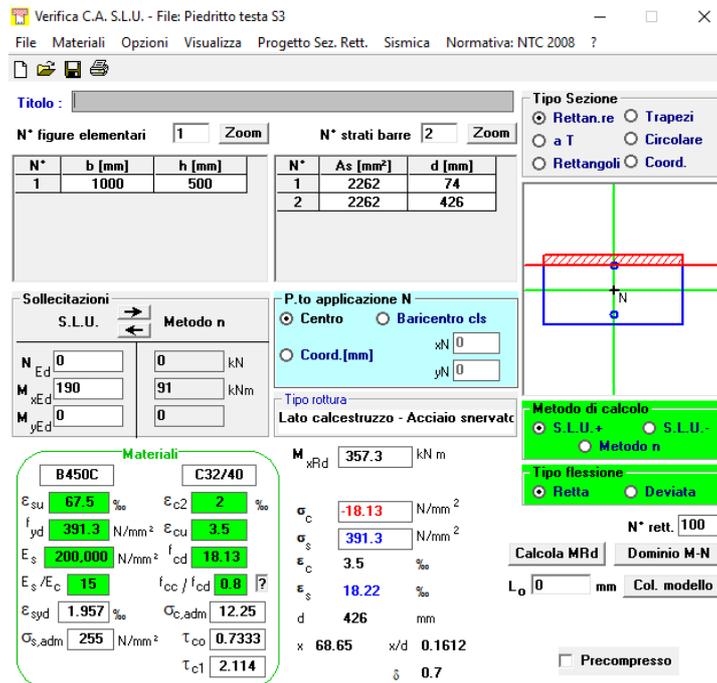
9.1.3. Sezione 3 - piedritto testa

Sezione S3 – Piedritto testa

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-103	198	190
ENV SLV	-107	116	113
ENV RARA	-71	131	91

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**



Verifica C.A. S.L.U. - File: Piedritto testa S3

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	2262	74
			2	2262	426

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 190 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
Coord. [mm]: xN 0, yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 18.13
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.7333
	$\tau_{c1}$ 2.114

M<sub>xRd</sub> 357.3 kNm

$\sigma_c$  -18.13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  18.22 ‰  
d 426 mm  
x 68.65 x/d 0.1612  
 $\delta$  0.7

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 mm Col. modello

Precompresso

Armatura:  $\phi 24/200$  mm interni,  $\phi 24/200$  mm esterni

Verifica C.A. S.L.U. - File: Piedritto testa 53

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	2262	74
			2	2262	426

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="190"/>	<input type="text" value="91"/>	kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] xN  yN

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40
$\epsilon_{su}$ 67.5 %	$\epsilon_{c2}$ 2 %
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 %
$E_s$ 200,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 18.13
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 %	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.7333
	$\tau_{c1}$ 2.114

$\sigma_c$  -3.067 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  106.6 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$  0.5329 %  
d 426 mm  
x 128.4 x/d 0.3015  
 $\delta$  0.8169

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

**Comb. SLE RARA - PIEDRITTO TESTA**

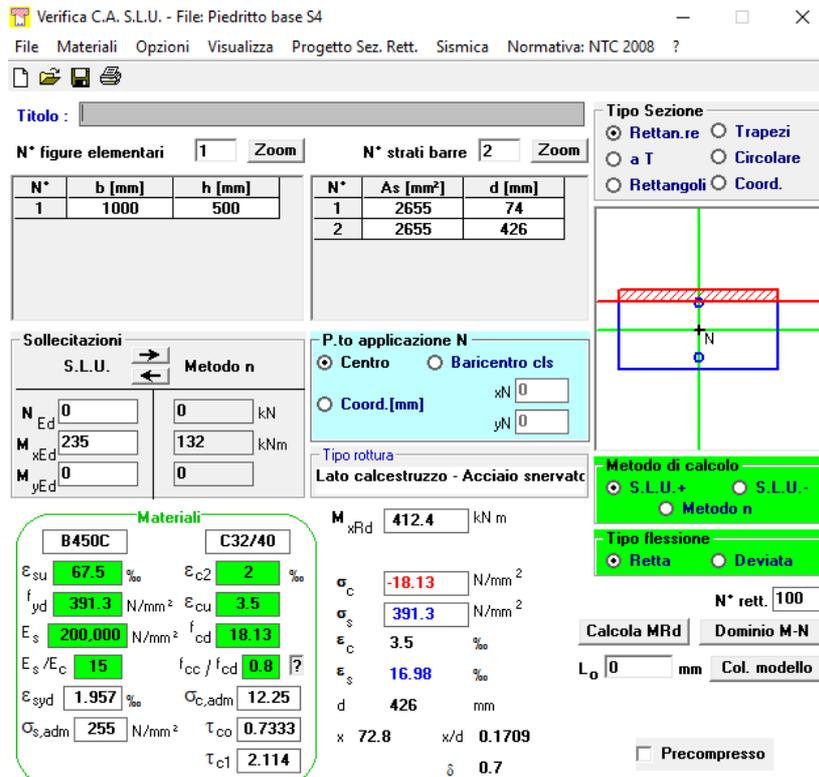
Rck	<b>40</b>	Mpa	
fck	<b>32</b>	Mpa	
fctm	<b>3.02</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
ofess	2.52	Mpa	
Wid	0.042	m3	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
σG	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale > 0 trazione
Mfess	105	kNm	
Med	<b>91</b>	kNm	
check	<b>NON FESSURATO</b>		
σs	<b>107</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciaio ( <b>SLE rara</b> )
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciaio armatura
αe	6.30		αe = Es/Ec
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>500</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>74</b>	mm	Copriferro (al baricentro armature) armature tese
d	426	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>128.4</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	185.0	mm	
(h-x)/3	123.9	mm	
h/2	250.0	mm	
hceff	123.9	mm	Altezza efficace
Aceff	123,867	mmq	Area efficace
As	<b>2262</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
pp,eff	0.01826		Percentuale armatura
εsm	0.000305		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
Φ1	<b>24</b>	mm	
n2	<b>0</b>		
Φ2	<b>0</b>	mm	
φ eq	24.00	mm	Diametro equivalente
srmax	393.420	mm	Distanza massima fessura
w	<b>0.12</b>	mm	Ampiezza teorica fessura



### 9.1.4. Sezione 4 - piedritto piede

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Sezione S4 – Piedritto piede			
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-173	259	-235
ENV SLV	-115	160	-117
ENV RARA	-123	163	132



Verifica C.A. S.L.U. - File: Piedritto base S4

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	2655	74
			2	2655	426

Tipologia sezione:  Rettan.re  Trapezi  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  S.L.U. +  S.L.U. -  Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviata

Calcola MRd Dominio M-N L<sub>o</sub> 0 mm Col. modello  Precompresso

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ 67.5 %	$\epsilon_{c2}$ 2 %
$f_{yd}$ 391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3.5 %
$E_s$ 200,000 N/mm²	$f_{cd}$ 18.13
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 %	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0.7333
	$\tau_{c1}$ 2.114

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  Coord.[mm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 412.4 kN m

$\sigma_c$  -18.13 N/mm²

$\sigma_s$  391.3 N/mm²

$\epsilon_c$  3.5 %

$\epsilon_s$  16.98 %

d 426 mm

x 72.8 x/d 0.1709

$\delta$  0.7

Armatura:  $\phi 26/200$  mm interni,  $\phi 26/200$  mm esterni

Verifica C.A. S.L.U. - File: Piedritto base S4

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	2655	74
			2	2655	426

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

File

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] xN  yN

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

**Materiali**

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200,000 N/mm²	$f_{cd}$	18.13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.7333
		$\tau_{c1}$	2.114

$\sigma_c$  -4.112 N/mm²  
 $\sigma_s$  132.6 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.6632 ‰  
d 426 mm  
x 135.2 x/d 0.3174  
 $\delta$  0.8368

<b>Comb. SLE RARA - PIEDRITTO BASE</b>			
Rck	<b>40</b>	Mpa	
fck	<b>32</b>	Mpa	
fctm	<b>3.02</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
σfess	2.52	Mpa	
Wid	0.042	m3	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
σG	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale >0 trazione
Mfess	105	kNm	
Med	<b>132</b>	kNm	
check	<b>FESSURATO</b>		
σs	<b>133</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciaio ( <b>SLE rara</b> )
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciaio armatura
αe	6.30		αe = Es/Ec
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>500</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>74</b>	mm	Copri ferro (al baricentro armature) armature tese
d	426	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>135.2</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	185.0	mm	
(h-x)/3	121.6	mm	
h/2	250.0	mm	
hceff	121.6	mm	Altezza efficace
Aceff	121,600	mmq	Area efficace
As	<b>2655</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
ρp,eff	0.02183		Percentuale armatura
εsm	0.000379		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
φ1	<b>26</b>	mm	
n2	<b>0.0</b>		
φ2	<b>0</b>	mm	
φ eq	26.00	mm	Diametro equivalente
srmax	372.438	mm	Distanza massima fessura
w	<b>0.14</b>	mm	Ampiezza teorica fessura

**Verifica di resistenza a taglio**

Come armatura a taglio di dispongono spilli  $\phi 12/200 \times 200$  mm

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$  mm larghezza  $f_{yk} = 450$  MPa resist. caratteristica

$h = 500$  mm altezza  $\gamma_s = 1.15$  coeff. sicurezza

$c = 50$  mm copriferro  $f_{yd} = 391.3$  MPa resist. di calcolo

$f_{ck} = 32$  MPa resist. caratteristica Armatura longitudinale tesa:

$\gamma_c = 1.50$  coeff. sicurezza  $A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset \text{ } 26 = 26.55 \text{ cm}^2$

$\alpha_{cc} = 0.85$  coeff. riduttivo  $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0 = 0.00 \text{ cm}^2$

$d = 450$  mm altezza utile  $A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0 = 0.00 \text{ cm}^2$

$f_{cd} = 18.13$  MPa resist. di calcolo  $26.55 \text{ cm}^2$

• **Sollecitazioni** (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$  kN  $V_{ed} = 260.0$  kN

• **Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.667 < 2$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$   $v_{min} = 0.426$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.006 < 0.02$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 239.6$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 191.7$  kN)

$V_{Rd} = 239.6$  kN valore di calcolo

**la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio**

• **Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$\theta = 45.0$  ° inclinaz. bielle cls angolo ammissibile

$\alpha = 90.0$  ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio (staffatura):

$A_{sw}/s =$  staffe  $\emptyset$  12 mm con n° bracci (trasv) 5 passo 20 cm = 0.283 cm<sup>2</sup>/cm

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha$   $V_{Rsd} = 448.1$  kN

$f_{cd} = 9.07$  MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.000$  coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha)$   $V_{Rcd} = 1836.1$  kN

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$   $V_{Rd} = 448.1 > 260.0$  kN c.s. = 1.7

la sezione armata a taglio risulta verificata.

9.1.5. Sezione 5 - piedritto mezzeria

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Sezione S5 – Piedritto mezzeria

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-132	49	94
ENV SLV	-89	28	63
ENV RARA	-93	31	63

Verifica C.A. S.L.U. - File: Piedritto mezzeria S5

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	1571	72
			2	1571	428

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
Coord.[mm] xN  yN

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  mm  
x  x/d   
δ

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>  mm Col. modello

Precompresso

Armatura: φ20/200 mm interni, φ20/200 mm esterni

Verifica C.A. S.L.U. - File: Piedritto mezzeria S5

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	500	1	1571	72
			2	1571	428

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="94"/>	<input type="text" value="63"/>	kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[mm]

xN   
yN

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

**Materiali**

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	<input type="text" value="67.5"/>	$\epsilon_{c2}$	<input type="text" value="2"/>
$f_{yd}$	<input type="text" value="391.3"/>	$\epsilon_{cu}$	<input type="text" value="3.5"/>
$E_s$	<input type="text" value="200.000"/>	$f_{cd}$	<input type="text" value="18.13"/>
$E_s/E_c$	<input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$	<input type="text" value="0.8"/>
$\epsilon_{syd}$	<input type="text" value="1.957"/>	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/>	$\tau_{co}$	<input type="text" value="0.7333"/>
		$\tau_{c1}$	<input type="text" value="2.114"/>

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$   %  
d  mm  
x  x/d   
 $\delta$

<b>Comb. SLE RARA - PIEDRITTO MEZZERIA</b>			
Rck	<b>40</b>	Mpa	
fck	<b>32</b>	Mpa	
fctm	<b>3.02</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
ofess	2.52	Mpa	
Wid	0.042	m3	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
$\sigma_G$	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale > 0 trazione
Mfess	105	kNm	
Med	<b>63</b>	kNm	
check	<b>NON FESSURATO</b>		
$\sigma_s$	<b>104</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciaio (SLE rara)
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciaio armatura
$\alpha_e$	6.30		$\alpha_e = E_s/E_c$
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>500</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>72</b>	mm	Copri ferro (al baricentro armature) armature tese
d	428	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>113.5</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	180.0	mm	
(h-x)/3	128.8	mm	
h/2	250.0	mm	
hceff	128.8	mm	Altezza efficace
Aceff	128,833	mmq	Area efficace
As	<b>1571</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
$\rho_p,eff$	0.01219		Percentuale armatura
$\epsilon_{sm}$	0.000297		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
$\Phi_1$	<b>20</b>	mm	
n2	<b>0.0</b>		
$\Phi_2$	<b>0</b>	mm	
$\phi_{eq}$	20.00	mm	Diametro equivalente
srmax	448.825	mm	Distanza massima fessura
w	<b>0.13</b>	mm	Ampiezza teorica fessura

**Verifica di resistenza a taglio**

Come armatura a taglio di dispongono spilli  $\phi 12/400 \times 400 \text{ mm}$

VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 20$	$= 15.71 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 450$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa	resist. di calcolo			$15.71 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 50.0 \text{ kN}$$

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.667 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.426$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.003 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 201.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 191.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 201.2 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

**• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \quad \text{passo } 40 \text{ cm} = 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \sin \alpha \quad V_{Rsd} = 112.0 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa} \quad \text{resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1836.1 \text{ kN}$$

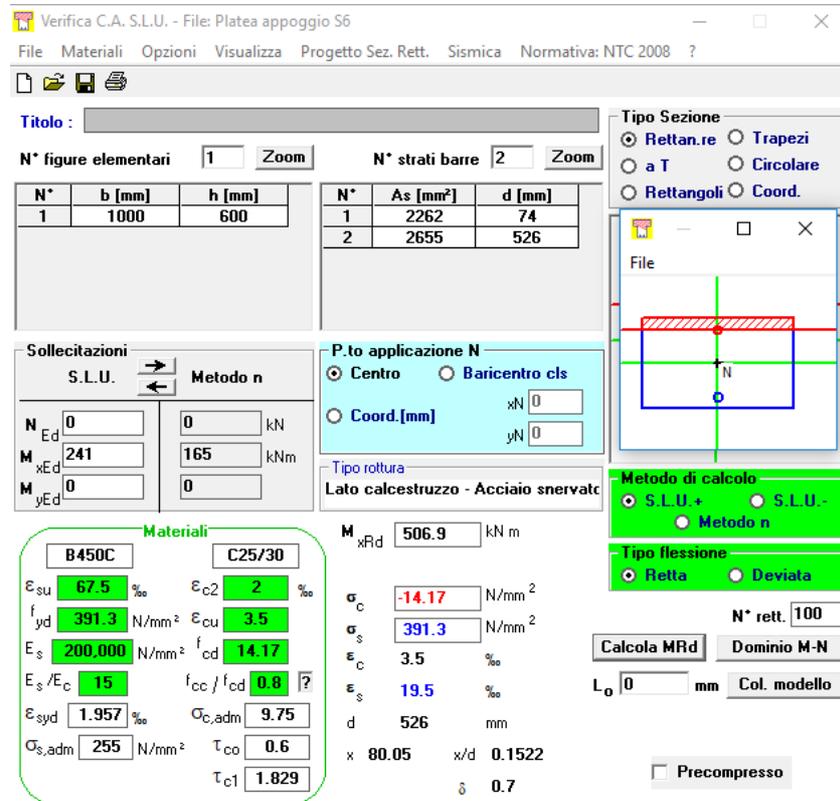
$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 112.0 > 50.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 2.2$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

9.1.6. Sezione 6 - soletta inferiore appoggio

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Sezione S6 – Soletta inferiore appoggio				
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)				
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	
ENV SLU	-138	-269	241	
ENV SLV	-156	-118	130	
ENV RARA	-145	-165	141	



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the following data:

- Titolo:** Platea appoggio S6
- Materiali:** B450C, C25/30
- Proprietà materiali:**
  - $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰,  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰
  - $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰
  - $E_s$ : 200,000 N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cd}$ : 14.17
  - $E_s/E_c$ : 15,  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8
  - $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰,  $\sigma_{c,adm}$ : 9.75
  - $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>,  $\tau_{co}$ : 0.6
  - $\tau_{cl}$ : 1.829
- Geometria e Armatura:**
  - N° figure elementari: 1, N° strati barre: 2
  - Table with columns: N°, b [mm], h [mm], As [mm²], d [mm]
  - Row 1: 1, 1000, 600, 2262, 74
  - Row 2: 2, 2655, 526
- Carichi e Sollecitazioni:**
  - N<sub>Ed</sub>: 0 kN, M<sub>xEd</sub>: 241 kNm, M<sub>yEd</sub>: 0 kNm
  - Metodo n
- Verifica:**
  - M<sub>xRd</sub>: 506.9 kNm
  - $\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_c$ : 3.5 ‰,  $\epsilon_s$ : 19.5 ‰
  - d: 526 mm, x: 80.05 mm, x/d: 0.1522
  - $\delta$ : 0.7
- Metodo di calcolo:** S.L.U.+, Metodo n
- Tipo flessione:** Retta
- Altri parametri:** N° rett.: 100, L<sub>0</sub>: 0 mm, Col. modello

Armatura:  $\phi 26/200$  mm inferiori,  $\phi 24/200$  mm superiori

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea appoggio S6

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	1000	600	1	2262	74
			2	2655	526

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	241	165	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord. [mm] xN  yN

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

Materiali

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ 67.5 %	$\epsilon_{c2}$ 2 %
$f_{yd}$ 391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3.5
$E_s$ 200.000 N/mm²	$f_{cd}$ 14.17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 %	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0.6
	$\tau_{c1}$ 1.829

$\sigma_c$  -3.684 N/mm²

$\sigma_s$  132.2 N/mm²

$\epsilon_s$  0.6609 %

d 526 mm

x 155.1 x/d 0.2948

$\delta$  0.8085

**Comb. SLE RARA - APPOGGIO PLATEA**

Rck	<b>30</b>	Mpa	
fck	<b>25</b>	Mpa	
fctm	<b>2.56</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
σfess	2.14	Mpa	
Wid	0.042	m <sup>3</sup>	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
σG	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale > 0 trazione
Mfess	89	kNm	
Med	<b>165</b>	kNm	
check	<b>FESSURATO</b>		
σs	<b>132</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciai (SLE rara)
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciai armatura
αe	6.30		αe = Es/Ec
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>600</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>74</b>	mm	Copri ferro (al baricentro armature) armature tese
d	526	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>155.1</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	185.0	mm	
(h-x)/3	148.3	mm	
h/2	300.0	mm	
hceff	148.3	mm	Altezza efficace
Aceff	148,300	mmq	Area efficace
As	<b>2655</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
ρp,eff	0.01790		Percentuale armatura
εsm	0.000378		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
φ1	<b>26</b>	mm	
n2	<b>0.0</b>		
φ2	<b>0</b>	mm	
φ eq	26.00	mm	Diametro equivalente
srm <sub>max</sub>	416.887	mm	Distanza massima fessura
w	<b>0.16</b>	mm	Ampiezza teorica fessura

**Verifica di resistenza a taglio**

Come armatura a taglio di dispongono spilli  $\phi 12/200 \times 400$  mm

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$ mm larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa	resist. caratteristica
$h = 600$ mm altezza	$\gamma_s = 1.15$	coeff. sicurezza
$c = 50$ mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$ MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:	
$\gamma_c = 1.50$ coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset \text{ } 24$	$= 22.62 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$ coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 2.5 \text{ } \emptyset \text{ } 20$	$= 7.85 \text{ cm}^2$
$d = 550$ mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$ MPa resist. di calcolo		$30.47 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione <0, trazione >0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$  kN       $V_{ed} = 269.0$  kN

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1.603 < 2$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0.355$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$        $\rho_1 = 0.006 < 0.02$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa <  $0.2 f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 254.1$  kN;      (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 195.3$  kN)

$V_{Rd} = 254.1$  kN valore di calcolo

**la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio**

**• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$\theta = 45.0$  ° inclinaz. bielle cls      angolo ammissibile

$\alpha = 90.0$  ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio (staffatura):

$A_{sw}/s =$  staffe  $\emptyset 12$  mm con n° bracci (trasv)  $2.5$  passo  $20$  cm  $= 0.141 \text{ cm}^2/\text{cm}$

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha$        $V_{Rsd} = 273.8$  kN

$f_{cd} = 7.08$  MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.000$  coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha)$        $V_{Rcd} = 1753.2$  kN

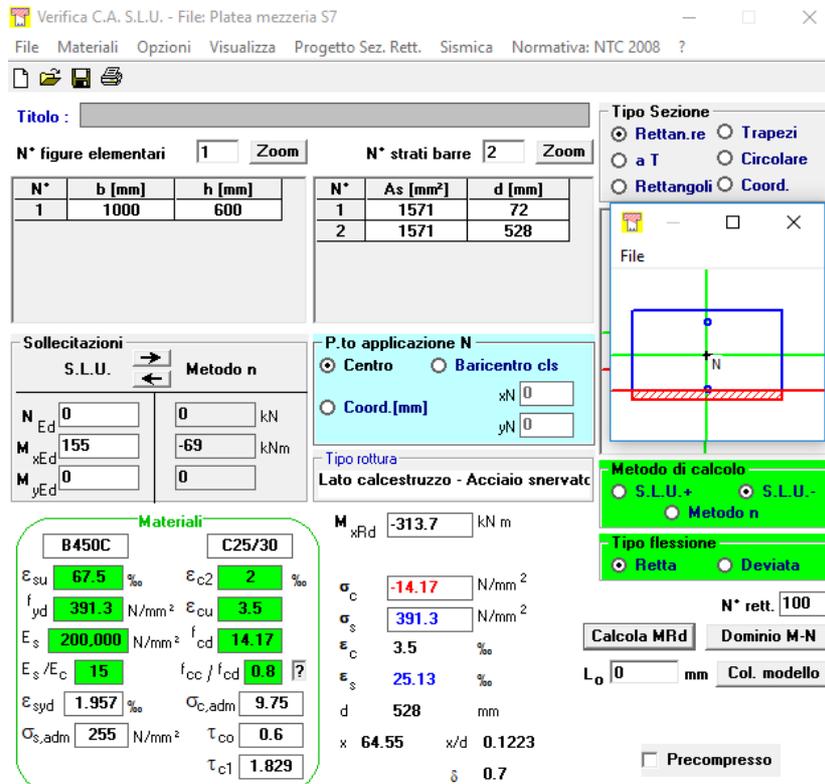
$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$        $V_{Rd} = 273.8 > 269.0$  kN      c.s. = 1.0

la sezione armata a taglio risulta verificata.

9.1.7. Sezione 7- soletta inferiore mezzeria

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Sezione S7 – Soletta inferiore mezzeria				
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV)				
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	
ENV SLU	-138	-84	-155	
ENV SLV	-146	-32	-52	
ENV RARA	-144	-18	-69	



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** Platea mezzeria S7
- N° figure elementari:** 1
- N° strati barre:** 2
- Table 1:**

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	600
- Table 2:**

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1571	72
2	1571	528
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n. Values: N<sub>Ed</sub>=0, M<sub>xEd</sub>=155, M<sub>yEd</sub>=0.
- P.to applicazione N:** Centro. xN=0, yN=0.
- Materiali:** B450C (E<sub>su</sub>=67.5%, f<sub>yd</sub>=391.3 N/mm², E<sub>s</sub>=200.000 N/mm², E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>=15, E<sub>syd</sub>=1.957%, σ<sub>s,adm</sub>=255 N/mm²) and C25/30 (ε<sub>c2</sub>=2‰, ε<sub>cu</sub>=3.5‰, f<sub>cd</sub>=14.17, f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>=0.8, σ<sub>c,adm</sub>=9.75, τ<sub>co</sub>=0.6, τ<sub>cl</sub>=1.829).
- Metodo di calcolo:** S.L.U.+, Metodo n.
- Tipo flessione:** Retta.
- Calcoli:** M<sub>xRd</sub> = -313.7 kNm, σ<sub>c</sub> = -14.17 N/mm², σ<sub>s</sub> = 391.3 N/mm², ε<sub>c</sub> = 3.5‰, ε<sub>s</sub> = 25.13‰, d = 528 mm, x = 64.55 mm, x/d = 0.1223, δ = 0.7.

**Armatura:** φ20/200 mm inferiori, φ20/200 mm superiori

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea mezzeria S7

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	600

N°	As [mm²]	d [mm]
1	1571	72
2	1571	528

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	155	-69	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord. [mm] xN  yN

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

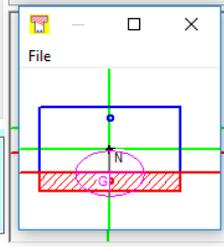
Precompresso

**Materiali**

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$	67.5	%	$\epsilon_{c2}$	2	%
$f_{yd}$	391.3	N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5	
$E_s$	200.000	N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	14.17	
$E_s/E_c$	15		$f_{cc}/f_{cd}$	0.8	?
$\epsilon_{syd}$	1.957	%	$\sigma_{c,adm}$	9.75	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.6	
			$\tau_{c1}$	1.829	

$\sigma_c$	-1.937	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	91.23	N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_s$	0.4562	%
d	528	mm
x	127.5	x/d 0.2415
		$\delta$ 0.7419



<b>Comb. SLE RARA - MEZZERIA PLATEA</b>			
Rck	<b>30</b>	Mpa	
fck	<b>25</b>	Mpa	
fctm	<b>2.56</b>	Mpa	(per classi <= C50/60)
ofess	2.14	Mpa	
Wid	0.042	m3	modulo di reazione sezione ideale, rif. al lembo teso
$\sigma_G$	<b>0.00</b>	Mpa	tensione media (baricentrica) dovuta a solo sforzo assiale > 0 trazione
Mfess	89	kNm	
Med	<b>69</b>	kNm	
check	<b>NON FESSURATO</b>		
$\sigma_s$	<b>91</b>	Mpa	Tasso di lavoro acciaio ( <b>SLE rara</b> )
kt	<b>0.6</b>		kt = 0.4 lungo termine; kt = 0.6 breve termine
fck	<b>32</b>	Mpa	
Ecm	33346	Mpa	Modulo E = 22000*(fcm/10)^0.3
fct,eff	3.02	Mpa	fct,eff = 0.3*fck^(2/3)
Es	<b>210,000</b>	Mpa	Modulo acciaio armatura
$\alpha_e$	6.30		$\alpha_e = E_s/E_c$
Section width	<b>1000</b>	mm	Larghezza sezione
Section depth	<b>600</b>	mm	Altezza sezione
c'	<b>72</b>	mm	Copri ferro (al baricentro armature) armature tese
d	528	mm	Altezza utile - rispetto al lembo compresso
x	<b>127.5</b>	mm	Profondità asse neutro
2.5(h-d)	180.0	mm	
(h-x)/3	157.5	mm	
h/2	300.0	mm	
hceff	157.5	mm	Altezza efficace
Aceff	157,500	mmq	Area efficace
As	<b>1571</b>	mmq	Area armatura nella zona tesa
pp,eff	0.00997		Percentuale armatura
$\epsilon_{sm}$	0.000261		
c	<b>50</b>	mm	Ricoprimento barre tese
k1	<b>0.8</b>		Aderenza (0.8 migliorata - 1.6 liscia)
k2	<b>0.5</b>		0.5 flessione - 1.0 trazione
k3	<b>3.40</b>		
k4	<b>0.425</b>		
n1	<b>5</b>		
$\Phi_1$	<b>20</b>	mm	
n2	<b>0.0</b>		
$\Phi_2$	<b>0</b>	mm	
$\phi_{eq}$	20.00	mm	Diametro equivalente
srm <sub>max</sub>	510.866	mm	Distanza massima fessura
<b>w</b>	<b>0.13</b>	<b>mm</b>	Ampiezza teorica fessura

**Verifica di resistenza a taglio**

Come armatura a taglio di dispongono spilli  $\phi 12/400 \times 400 \text{ mm}$

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 600$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 20$	$= 15.71 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 550$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$15.71 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 84.0 \text{ kN}$$

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.603 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.355$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.003 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 203.7 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 195.3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 203.7 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

**• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \quad \text{passo } 40 \text{ cm} = 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 136.9 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 7.08 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1753.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 136.9 > 84.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.6$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

## 9.2. Verifica a deformazione soletta superiore

In accordo alle normativa paragrafo 5.2.3.3.2.1/ Stati limite per i comfort dei passeggeri.

Valori limite di deformabilità della soletta superiore sono riportati nella tabella 5.2.1.8.3.2.2-2

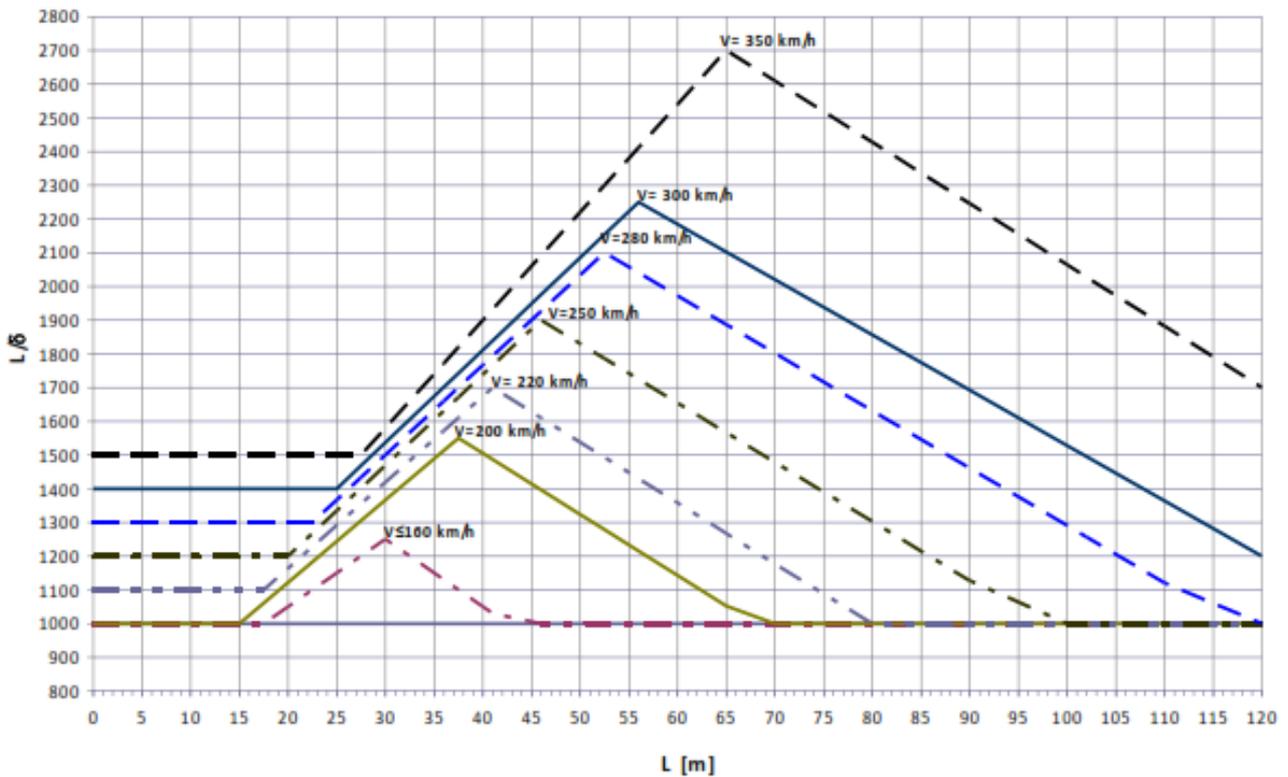


Fig. 5.2.1.8.3.2.2-2 Valori del limite di deformabilità  $L/\delta$  per il confort dei passeggeri.

Nella seguente immagine si riporta la deformazione della soletta superiore dovuto al singolo carico del treno LM71:



### 9.3. Riepilogo armature – scatolare

FONDAZIONE					
Pos.	L [m]	n°	φ [mm]	kg/m	kg
1	4.6	5	26	4.168	95.86
2	4.6	5	24	3.551	81.67
4	0.8	35	12	0.888	24.86
5	longitudinali				35.51
6	1.8	5	26	4.168	37.51
7	1.8	5	26	4.168	37.51
				312.93	2.4 m3
					150 kg/m3
PIEDRITTO					
Pos.	L [m]	n°	φ [mm]	kg/m	kg
6	1.90	5	26	4.168	39.60
7	1.90	5	26	4.168	39.60
8	2.90	5	24	3.551	51.49
9	2.90	5	24	3.551	51.49
10	0.70	71	12	0.888	44.29
16	1.00	17	12	0.888	15.10
17	1.00	17	12	0.888	15.10
				256.65	1.7 m3
					165 kg/m3
SOLETTA					
Pos.	L [m]	n°	φ [mm]	kg/m	kg
12	4.6	5	24	3.551	81.67
13	4.6	5	20	2.466	56.72
14	0.8	65	12	0.888	46.18
15	longitudinali				27.68
8	1.6	5	24	3.551	28.41
9	1.6	5	24	3.551	28.41
				269.06	2 m3
					155 kg/m3

Complessivamente l'incidenza del monolite è pari a:

area	7.8	m2
kgtot/m	1095.30	
incidenza	159	kg/m3

**160 kg/m3 complessivo**



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

**SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA  
RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100001	A	76 di 87

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A

## 10.VERIFICA LOCALE NODO SOLETTA SCATOLARE -MURO DI RECINZIONE

Nel tratto ferroviario in esame sono previsti muri di recinzione su pali, che vengono interrotti in adiacenza al sottopasso. In corrispondenza del sottopasso i muri vengono direttamente realizzati sulla copertura, mediante opportuno ringrosso localizzato.

Sui muri sono installate anche barriera antirumore:

- la barriera H5 (lato sud) ha altezza 5 m su p.f.
- la barriera H3 (lato nord) ha altezza 4 m su p.f.

L'azione dimensionante è quella dovuta all'urto del treno, la cui verifica in SLU copre anche la verifica allo stato SLE per fessurazione dovuta ad azione combinata di vento-effetto aerodinamica del convoglio.

Secondo quanto riportato nella norma nazionale NTC2018 al capitolo 3 §3.6.3.4, al verificarsi di un deragliamento può esservi il rischio di collisione fra i veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia.

Queste ultime dovranno essere progettate in modo da resistere alle azioni conseguenti ad una tale evenienza.

Dette azioni devono determinarsi sulla base di una specifica analisi di rischio, tenendo conto della presenza di eventuali elementi protettivi o sacrificali (respingenti) oppure di condizioni di impianto che possano ridurre il rischio di accadimento dell'evento (marciapiedi, controrotaie, ecc.).

In mancanza di specifiche analisi di rischio possono assumersi le seguenti azioni statiche equivalenti, in funzione della distanza  $d$  degli elementi esposti dall'asse del binario.

Nel caso in esame la distanza  $d$  è inferiore a 5.00m per cui il valore delle forze statiche equivalenti vale:

-4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

-1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

Queste forze dovranno essere applicate a 1,80 m dal piano del ferro e non dovranno essere considerate agenti simultaneamente.

Di seguito si riporta uno schema con applicazione della forza statica equivalente dovuta all'urto.

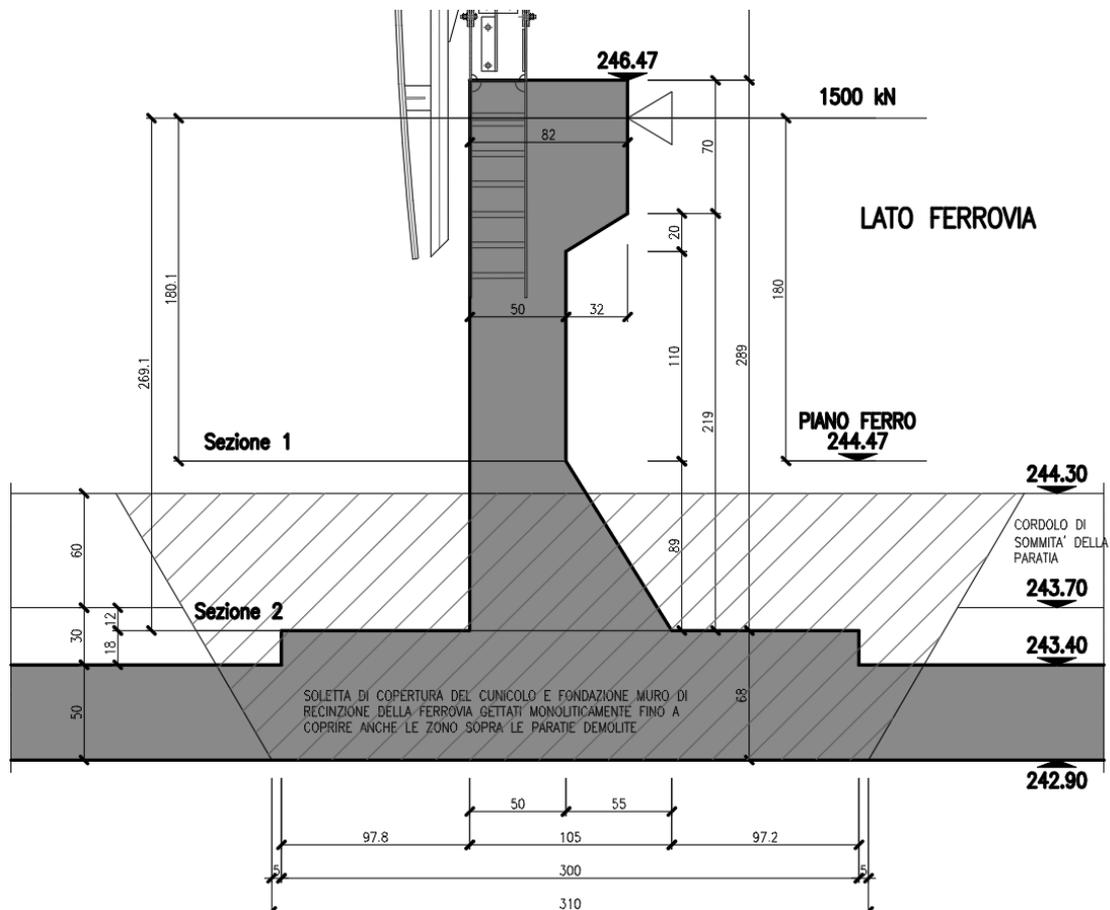


Figura 27: Schema di applicazione delle forze statiche equivalenti

Ai fini della valutazione delle sollecitazioni all'interfaccia muro-sottopasso occorre considerare la diffusione del carico trasversale di 1500kN. La lunghezza di diffusione può essere valutata considerando che l'impatto avvenga a 1.80m dal PF.

L'altezza totale del punto di applicazione dell'urto fino alla quota di estradosso soletta del sottopasso è pari a circa 2.69m, ipotizzando una diffusione a 45° all'interno del muro, si ottiene una lunghezza di diffusione di 2.69m.

Si riporta la verifica delle sezioni significative del muro e dell'ancoraggio.

### 10.1. Verifica sezione 1

La forza di impatto a metro lineare è pertanto pari a  $1500\text{kN} \times 1.80\text{m} / 2.69 = 1004 \text{ kNm/m}$

Il valore di momento flettente agente per la sezione 1 vale  $M_{ed} = 1004 \text{ kNm/m}$ .

Le verifiche sono state svolte con il software di calcolo VCa-SLU.

La sezione di calcolo ha le dimensioni di  $100 \times 50 \text{ cm}$

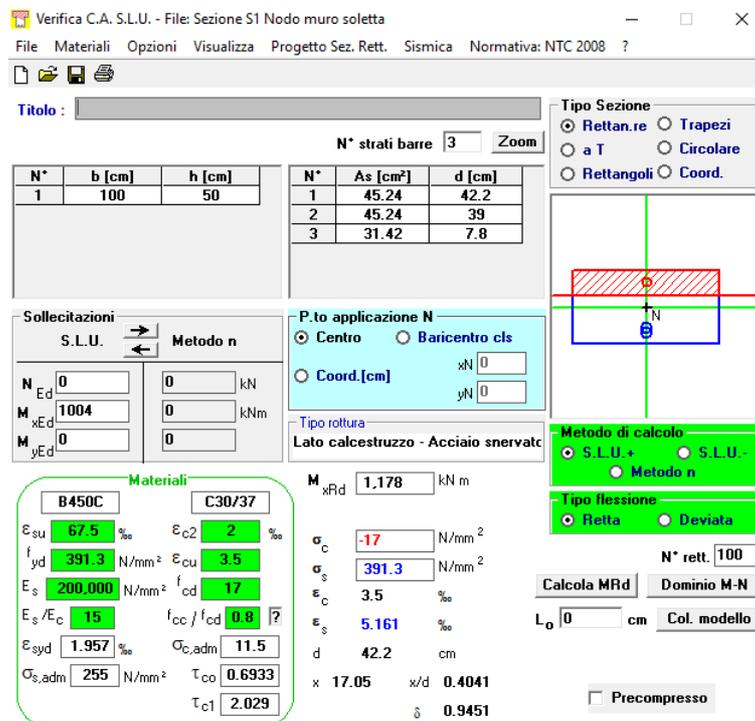
Si dispongono le seguenti armature:

Armatura interna  $2 \times \text{Ø } 24 / 10$  (lato binario)

Armatura esterna  $1 \times \text{Ø } 24 / 10$

Armatura a taglio  $\text{Ø } 16 / 20 \times 20$

Copriferro netto superiore e inferiore  $c = 5.0 \text{ cm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File: Sezione S1 Nodo muro soletta

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	45.24	42.2
			2	45.24	39
			3	31.42	7.8

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 1004 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
Coord. [cm]: xN 0, yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C30/37

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰, ε<sub>c2</sub> 2 ‰, f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm², ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰, E<sub>s</sub> 200,000 N/mm², f<sub>cd</sub> 17 N/mm², E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15, f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8, ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰, σ<sub>c,adm</sub> 11.5 N/mm², σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm², τ<sub>co</sub> 0.6933, τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 1,178 kNm, σ<sub>c</sub> -17 N/mm², σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm², ε<sub>c</sub> 3.5 ‰, ε<sub>s</sub> 5.161 ‰, d 42.2 cm, x 17.05, x/d 0.4041, δ 0.9451

Metodo di calcolo: S.L.U.+, S.L.U.-, Metodo n  
Tipo flessione: Retta, Deviata  
N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

$M_{Rd} = 1178 \text{ kNm} > 1004 \text{ kNm} = M_{ed}$  verifica soddisfatta

## 10.2. Verifica sezione 2

La forza di impatto a metro lineare è pertanto pari a  $1500\text{kN} \times 2.69\text{m} / 2.69 = 1500\text{ kNm/m}$

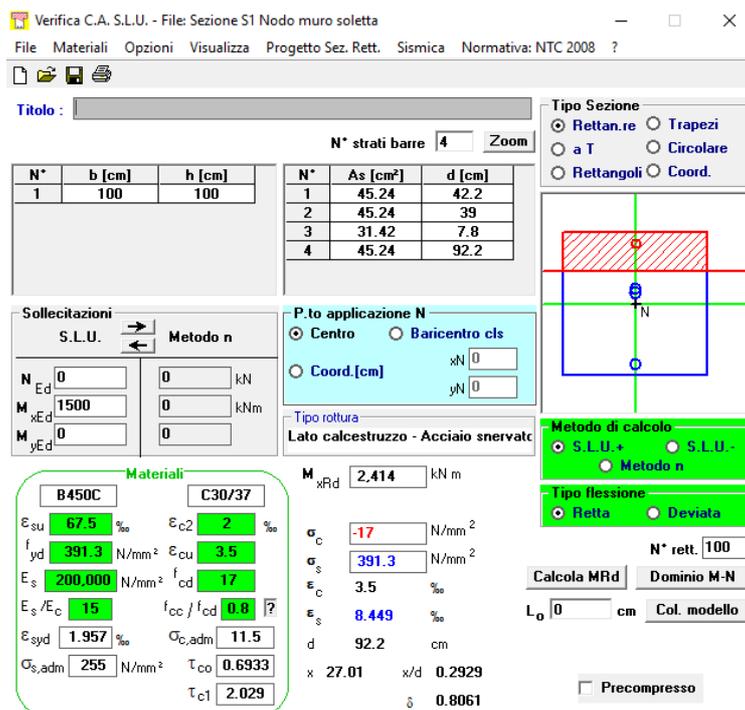
Il valore di momento flettente agente per la sezione 2 vale  $M_{ed} = 1500\text{ kNm/m}$  e il taglio  $V_{ed} = 1500\text{ kN}$ .

Le verifiche sono state svolte con il software di calcolo VCa-SLU, per la verifica a taglio si è fatto uso di appositi fogli di calcolo excel.

La sezione di calcolo ha le dimensioni di  $100 \times 100\text{ cm}$

Si dispongono le seguenti armature:

- Armatura interna                     $1 \times \text{Ø } 24/10$                     (lato binario)
- Armatura interna                     $2 \times \text{Ø } 24/10$                     (interna al muro)
- Armatura esterna                     $1 \times \text{Ø } 24/10$
- Armatura a taglio                     $\text{Ø } 16/20 \times 20$
- Copriferro netto superiore e inferiore     $c = 5.0\text{ cm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File: Sezione S1 Nodo muro soletta

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	45.24	42.2
			2	45.24	39
			3	31.42	7.8
			4	45.24	92.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 1500 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C	C30/37
E <sub>su</sub> 67.5 ‰	E <sub>c2</sub> 2 ‰
f <sub>yd</sub> 391.3 N/mm²	E <sub>cu</sub> 3.5 ‰
E <sub>s</sub> 200,000 N/mm²	f <sub>cd</sub> 17 ‰
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> 15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> 0.8
E <sub>syd</sub> 1.957 ‰	σ <sub>c,adm</sub> 11.5
σ <sub>s,adm</sub> 255 N/mm²	τ <sub>co</sub> 0.6933
	τ <sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 2,414 kN m

σ<sub>c</sub> -17 N/mm²

σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²

E<sub>c</sub> 3.5 ‰

ε<sub>s</sub> 8.449 ‰

d 92.2 cm

x 27.01 x/d 0.2929

δ 0.8061



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

**SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA  
RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100001	A	81 di 87

$M_{rd}=2414 \text{ kNm} > 1500 \text{ kNm} = M_{ed}$       verifica soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

Si prevedo staffe  $\varnothing 16/20 \times 20$

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1000$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$	$\emptyset 24$	$= 45.24 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 10$	$\emptyset 24$	$= 45.24 \text{ cm}^2$
$d = 950$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			$90.48 \text{ cm}^2$

• **Sollecitazioni** (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 1500.0 \text{ kN}$$

• **Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.459 < 2$$

$$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.338$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.010 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 508.4 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 320.9 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 508.4 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

*la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio*

• **Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 16 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.503 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha \quad V_{Rsd} = 1681.8 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 8.50 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 3633.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1681.8 > 1500.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.1$$

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

### 10.3. Verifica soletta di copertura sottopasso

Si esegue la verifica puntuale nel nodo Muro -soletta di copertura dell'impalcato.

$$V_{ed} = M_{ed} / z_1$$

$$V_{ed} = 1500 \text{ kNm/m} / 0.929\text{m} = 1615 \text{ kN/m}$$

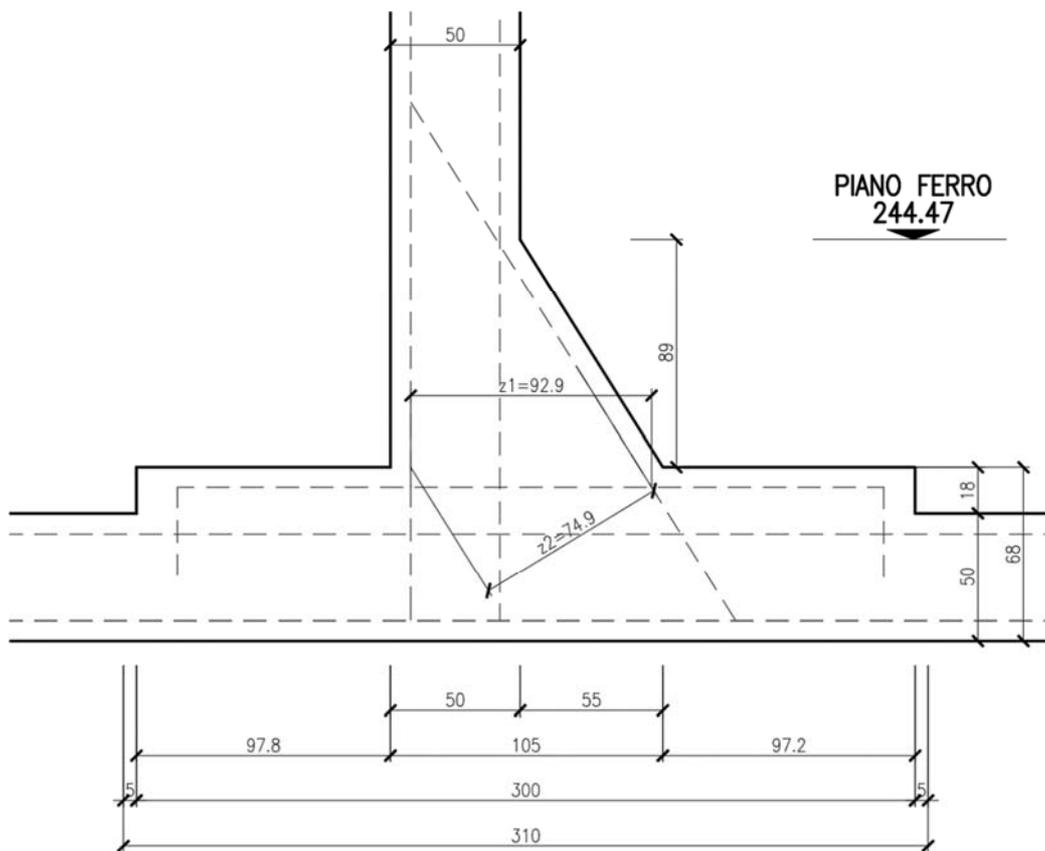


Figura 28: Schema di calcolo per armature

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedo staffe Ø16/20x10

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 680$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	Ø 12	= 5.65 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm <sup>2</sup>
$d = 630$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			5.65 cm <sup>2</sup>

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 1615.0 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.563 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.375$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.001 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 164.4 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 236.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 236.1 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

**la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio**

#### • Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \varnothing 16 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \quad \text{passo } 10 \text{ cm} = 1.005 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 2230.6 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 8.50 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 2409.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 2230.6 > 1615.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.4$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 10.3.1. Verifica flessionale - armatura longitudinale

$$Z_2 = 0.749\text{m}$$

$$A_{s1} = (M_{ed} / z_2) / f_{yd} = (1500 \times 10^6 \text{ kNm/m} / 749) / 450 = 4450 \text{ mm}^2 = 44.5\text{cm}^2 \rightarrow 10 \text{ } \varnothing 24 / \text{m}$$

### 10.4. Incidenza armature muro

Muro di recinzione sezione 0.50m

$$H_{sez\ 1} = 0.50\text{m}$$

$$B_{sez\ 1} = 1.00\text{m}$$

$$L_{sez\ 1} = 1.00\text{m}$$

$$\text{Volume muro} = 0.50 \text{ m}^3$$

Armature	$\varnothing$ [mm]	n° Barre [-]	Peso singola barra [kg/m]	Peso barre [kg/m]
Lato binario layer 1	24	10	3.551	35.51
Lato binario layer 2	24	10	3.551	35.51
Lato esterno	20	10	2.466	24.66
Lato binario layer 1 orizzontali	12	10	0.888	8.88
Lato esterno orizzontali	12	10	0.888	8.88
Spilli	16	10	1.578	15.78

**Totale kg/m**

**129.22**

Il valore sopra riportato viene aumentato del 20% a causa di sfridi, quindi si ottiene:

$$129.22 \times 1.2 = 155.0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Incidenza muro } 155.0 / 0.5 = 310 \text{ kg/m}^3$$

Muro di recinzione sezione 1.00m

$$H_{\text{sez } 1} = 1.00\text{m}$$

$$B_{\text{sez } 1} = 1.00\text{m}$$

$$L_{\text{sez } 1} = 1.00\text{m}$$

$$\text{Volume muro} = 1.00 \text{ m}^3$$

Armature	Ø [mm]	n° Barre [-]	Peso singola barra [kg/m]	Peso barre [kg/m]
Lato binario layer 1	24	10	3.551	35.51
Lato centrale layer 1	24	10	3.551	35.51
Lato centrale layer 2	24	10	3.551	35.51
Lato esterno	20	10	2.466	24.66
Lato binario layer 1 orizzontali	12	10	0.888	8.88
Lato esterno orizzontali	12	10	0.888	8.88
Spilli	16	10	1.578	15.78

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO									
	<b>SL01 SOTTOVIA CICLOPEDONALE VIA ROMA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100001	REV. A	FOGLIO 87 di 87			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td><b>Totale kg/m</b></td> <td><b>164.73</b></td> </tr> </table>				<b>Totale kg/m</b>	<b>164.73</b>					
<b>Totale kg/m</b>	<b>164.73</b>									

Il valore sopra riportato viene aumentato del 20% a causa di sfridi, quindi si ottiene:

$$164.73 \times 1.2 = 198 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Incidenza muro } 198/1.00 = 198 \text{ kg/m}^3$$

L'incidenza media per 1 metro di lunghezza del Muro vale:  $255 \text{ kg/m}^3$

All'incidenza media del muro si aggiunge il quantitativo di armatura aggiuntiva che si localizza, nella zona di incastro muro soletta del sottopasso:

Sono previsti 10 Ø 24 / m peso al metro lineare  $35.51 \text{ kg/m}$ , lo spessore della soletta in quel punto è di 0.68m quindi l'incidenza in questa parte vale:

incidenza localizzata  $55 \text{ kg/m}^3$  (diviene aggiunta all'incidenza media del muro).

**L'incidenza media per 1 metro di lunghezza del Muro vale:  $310 \text{ kg/m}^3$**