

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA AC: TORINO - VENEZIA**

**TRATTA TORINO - MILANO**

**NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO**

**OPERE MINORI**

Bretella merci - Tombino circolare ferroviario DN800 - Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

N M O Y 0 0 D 1 1 C L R I 0 0 0 3 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A. Ingletti	Maggio 2021	M. Milovanovic 	Maggio 2021	F. Perrone 	Maggio 2021	D. Maranzano Maggio 2021 

File: NM0Y00D11CLRI0003001A.doc

n. Elab.: 113

<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	2 di 161

## INDICE

1.	PREMESSA .....	5
2.	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	5
3.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	9
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	9
3.2	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	10
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	11
4.1	CALCESTRUZZO .....	11
4.2	ACCIAIO PER C.A. ....	12
5.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	15
6.	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO .....	16
6.1	VITA NOMINALE .....	16
6.2	CLASSE D'USO .....	17
6.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA .....	17
6.4	TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO.....	17
6.5	ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO.....	18
6.6	PARAMETRI DI RISENTIMENTO IN SUPERFICIE.....	20
6.6.1	<i>Effetti stratigrafici</i> .....	20
6.6.2	<i>Effetti topografici</i> .....	20
6.7	ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO .....	20
7.	ANALISI DEI CARICHI .....	21
7.1	PESI PROPRI .....	21
7.2	PERMANENTI NON STRUTTURALI.....	21
7.3	SPINTA STATICA DEL TERRENO .....	22
7.4	SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO PERMANENTE.....	23
7.5	CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO .....	23

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	3 di 161

7.5.1	<i>Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili</i>	25
7.5.2	<i>Coefficiente di amplificazione dinamica</i>	25
7.6	SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE	26
7.7	AZIONE DI AVVIAMENTO / FRENATURA	26
7.8	AZIONE CENTRIFUGA	26
7.9	AZIONE DI SERPEGGIO	27
7.10	AZIONE DEL SISMA	28
7.11	RITIRO DEL CALCESTRUZZO	32
7.12	VARIAZIONE TERMICA	32
7.13	SOVRASPINTA SISMICA	32
7.14	COMBINAZIONI DEI CARICHI	32
8.	VERIFICHE STRUTTURALI	61
8.1	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE-PRESSOFLESSIONE	61
8.2	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO	61
8.3	VERIFICA AGLI STATI LIMITE D'ESERCIZIO	63
9.	ANALISI E VERIFICHE	65
9.1	MODELLO DI CALCOLO	65
9.1.1	<i>Modello di calcolo e dati di input</i>	66
9.2	RISULTATI DELLE ANALISI	78
9.3	VERIFICHE STRUTTURALI	85
9.3.1	<i>Piedritti</i>	86
9.3.2	<i>Soletta superiore</i>	104
9.3.3	<i>Soletta inferiore</i>	121
10.	VERIFICHE GEOTECNICHE	136
10.1.1	<i>Verifica di capacità portante verticale</i>	136
10.1.2	<i>Verifica dei cedimenti</i>	159



**LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.  
TRATTA TORINO - MILANO.  
NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO  
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	4 di 161

11. INCIDENZA..... 161

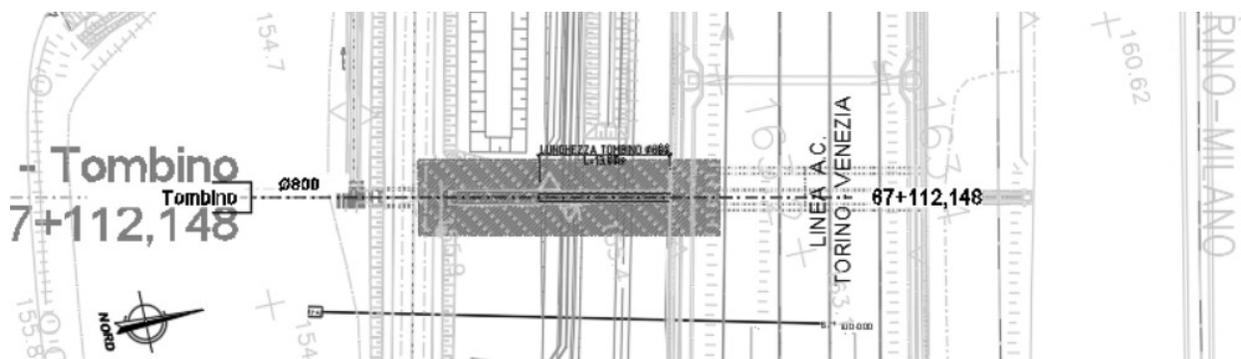
12. CONCLUSIONI ..... 161

## 1. PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla progettazione definitiva del nodo di Novara della linea AC Torino - Venezia nella tratta di Novara Boschetto.

L'opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle inserite nella categoria denominata "TOMBINI FERROVIARI".

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all'opera.



Tab. 1 – Planimetria generale e inquadramento dell' opera

## 2. SCOPO DEL DOCUMENTO

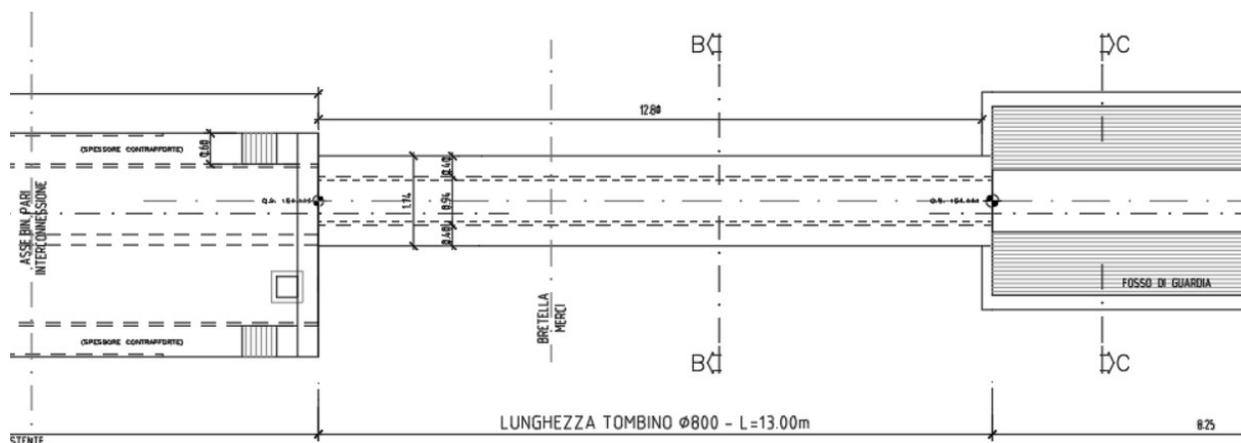
Nella seguente relazione, in particolare, vengono descritte le verifiche agli Stati Limite del Tombino Idraulico al Km 67+112,148.

**Descrizione Opera:** il manufatto in esame è un tombino idraulico DN800mm che presenta una sezione trasversale scatolare resistente con larghezza interna pari a 0,94 m ed altezza interna pari a 0,94 m; lo spessore della soletta di fondazione è 0.30 m, quello della soletta di copertura è 0.30 m, lo spessore dei piedritti è pari a 0.40m. La sezione complessiva presenta quindi una larghezza di 1,74 m ed un'altezza di 1,54 m.

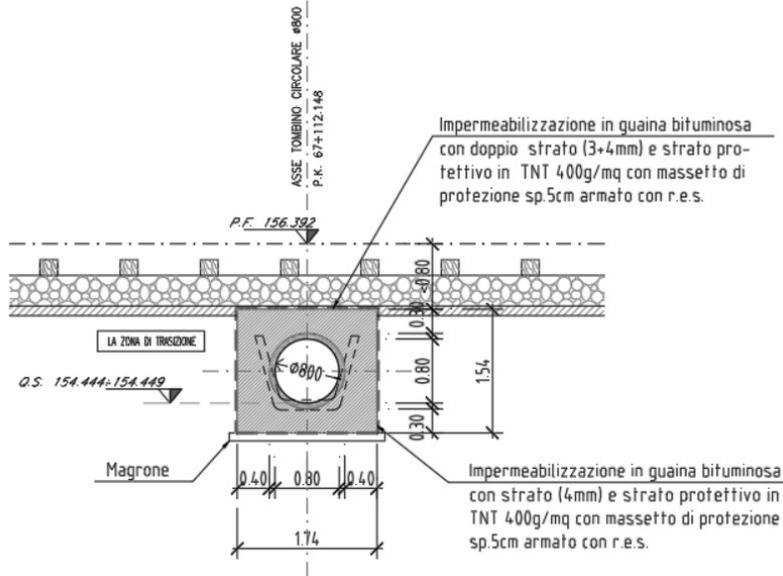
Di seguito si riporta la tabella riassuntiva della geometria del tombino scatolare alla progressiva 67+112,148.

<b>TOMBINO IDRAULICO 67+112,148</b>			
<b>GEOMETRIA</b>			
Larghezza	B	1.74	[m]
Lunghezza	L	13.00	[m]
Altezza	H	1.54	[m]
Spessore della soletta superiore	Ss	0.30	[m]
Spessore della soletta di fondazione	Sf	0.30	[m]
Spessore dei piedritti	Sp	0.40	[m]
Altezza netta	Hint	0.94	[m]
Larghezza netta	Lint	0.94	[m]
Spessore del ballast+armamento	Hb	0.80	[m]
Spessore del rilevato	Hr	0.00	[m]
Profondità della falda	Zw	4.69	[m]

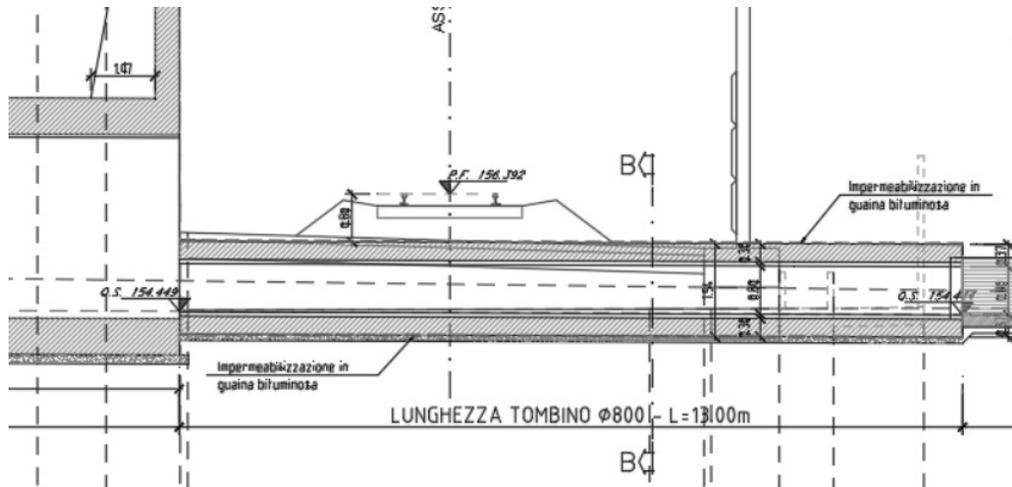
Di seguito si mostrano una pianta, una sezione trasversale e una longitudinale del tombino idraulico in esame:



Tab. 2 – Tombino scatolare 67+112,148 – Pianta



Tab. 3 – Tombino scolare 67+112,148 – Sezione trasversale



Tab. 4 – Tombino scolare idraulico -67+112,148 - Sezione longitudinale



**LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.  
TRATTA TORINO - MILANO.  
NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO  
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	8 di 161

Le caratteristiche di dettaglio e la descrizione dei singoli elementi componenti sono desumibili dagli specifici elaborati grafici e tutte le prescrizioni tecniche desumibili dal Progetto Definitivo.

Nei capitoli successivi si riportano le ipotesi assunte alla base del calcolo e le verifiche delle strutture secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.          TRATTA TORINO - MILANO.          NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO          PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>9 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	9 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	9 di 161								

### 3. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

#### 3.1 **Normativa di riferimento**

Si riporta di seguito la normativa di riferimento per la redazione del seguente documento :

- [1] LEGGE n. 1086 del 05.11.1971 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- [2] Circolare n.11951 del 14.02.1974 - “Istruzioni per l’applicazione della legge 5/11/1971 n. 1086”.
- [3] D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni.
- [4] Circolare 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’applicazione dell’ “Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- [5] Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici.
- [6] UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- [7] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [8] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- [9] UNI EN 206-1:2016 – “Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- [10] UNI 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206”.
- [11] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [12] RFI DTC SI PS MA IFS 001 D del 20.12.2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture.
- [13] RFI DTC SI CS MA IFS 001 D del 20.12.2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale.
- [14] RFI DTC SI SP IFS 001 D del 20.12.2019 - “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili”.
- [15] 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° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019.
- [16] Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione europea per le persone con disabilità e le

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

persone a mobilità ridotta, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 772/2019 della Commissione del 16 maggio 2019.

- [17] Regolamento di Esecuzione (UE) 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabiliti nella decisione delegata (UE) 2017/1474 della Commissione
- [18] 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.

### 3.2 Unità di misura e simbologia

#### Unità di misura principali

<b>N</b>	(Newton)	unità di forza
<b>m</b>	(metro)	unità di lunghezza
<b>kg</b>	(kilogrammo-massa)	unità di massa
<b>s</b>	(secondo)	unità di tempo

#### Unità di misura derivate

<b>kN</b> (kiloNewton)	$10^3$ N
<b>MN</b>	(megaNewton) $10^6$ N
<b>kgf</b>	(kilogrammo-forza) 1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b>	(centimetro) $10^{-2}$ m
<b>mm</b>	(millimetro) $10^{-3}$ m
<b>Pa</b> (Pascal)	1 N/m <sup>2</sup>
<b>kPa</b>	(kiloPascal) $10^3$ N/m <sup>2</sup>
<b>MPa</b>	(megaPascal) $10^6$ N/m <sup>2</sup>
<b>N/m<sup>3</sup></b>	(peso specifico)
<b>g</b> (accelerazione di gravità)	$\sim 9.81$ m/s <sup>2</sup>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

#### Corrispondenze notevoli

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ kN/m}^3 \sim 100 \text{ kgf/m}^3$$

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma$ (sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\epsilon$ (epsilon)	deformazione	(m/m - adimensionale)
$\varphi$ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione delle opere in esame si impiegheranno calcestruzzo e acciaio in accordo ai p.ti. 11.2 e 11.3 delle NTC2018.

Nell'approccio agli stati limite, i valori di calcolo delle resistenze dei materiali per le verifiche agli SLU si ottengono dividendo il valore caratteristico della generica resistenza  $r_k$  per il coefficiente di sicurezza del materiale relativo  $\gamma$ :

$$r_d = r_k / \gamma$$

È previsto, pertanto, l'utilizzo dei materiali riportati nei successivi paragrafi, in cui si illustrano le caratteristiche meccaniche.

### 4.1 Calcestruzzo

Le caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi distinte per parte d'ora sono di seguito riportate:

#### **Magroni**

- Classe di resistenza: C12/15
- Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$
- Classe di esposizione: X0
- Classe di consistenza slump: S3

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	12 di 161

- Contenuto minimo di cemento: 150 Kg/m<sup>3</sup>
- Rapporto A/C: ≤ 0.60
- Acqua: Conforme a UNI EN 1008
- Cemento: CEM II/B-M 32.5 R

**Strutture in c.a. in elevazione e fondazione:**

- Classe di resistenza: C30/37
- Classe di esposizione: XA1
- Classe di consistenza slump: S4
- Contenuto minimo di cemento: 300 Kg/m<sup>3</sup>
- Rapporto A/C: ≤ 0.55
- Aggregato: Conforme a UNI EN 12620
- Massima dimensione aggregato: 25 mm
- Copriferro: 40 mm
- Acqua: Conforme a UNI EN 1008
- Cemento: CEM IV/A 42.5 R
- Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente sicurezza SLU  $\gamma_C = 1,50$
- Resistenza di calcolo a compressione SLU  $f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_C = 17.40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) SLU  $f_{ctd} = 0.7 f_{ctk} / \gamma_C = 0.96 \text{ N/mm}^2$

**4.2 Acciaio per c.a.**

Acciaio per c.a. tipo B 450 C secondo DM 14.01.2018 avente le seguenti caratteristiche:

- Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} > 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} > 540 \text{ N/mm}^2$
- Rapporto  $1,15 < (f_t/f_y)_k < 1,35$  (frattile 10%)
- Rapporto  $(f_y/f_{y,nom})_k < 1,25$  (frattile 10%)
- Allungamento  $(A_{gt})_k > 7,5\%$  (frattile 10%)
- Coefficiente sicurezza SLU  $\gamma_S = 1,15$
- Resistenza di calcolo SLU  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 391,30 \text{ N/mm}^2$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

- Tensione di calcolo SLE

$$\sigma_{y,ad} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

La rispondenza dei materiali ai requisiti sarà valutata mediante le prescritte prove di accettazione. Con riferimento al p.to 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare n.7 del 21.1.2019 (Tab. 5), riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC 2018 (Tab. 6).

			barre da c.a.		barre da c.a.		cavi da c.a.p		cavi da c.a.p	
			elementi a piastra		altri elementi		elementi a piastra		altri elementi	
$C_{min}$	$C_o$	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tab. 5 – Tabella C4.1.IV della Circolare n.7 del 21.1.2019

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tab. 6 – Tabella 4.1.III delle NTC 2018

La classe di esposizione delle strutture in conglomerato cementizio del sottopasso di stazione è XA1; la corrispondente condizione ambientale desunta da Tab. 6 è “Aggressiva”. Con riferimento a Tab. 5 pertanto il valore nominale del copriferro di progetto sarà pari a 35 mm; tale valore è riferito a costruzioni con vita nominale pari a 50 anni. Nel caso di costruzioni con vita nominale pari a 100 anni, la



LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.  
TRATTA TORINO - MILANO.  
NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO  
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	14 di 161

circolare prescrive di aumentare il copriferro di 10 mm; visto che nel caso specifico la vita nominale è pari a 75 anni, il copriferro verrà aumentato di 5 mm. Il copriferro di progetto è quindi pari a **40 mm**.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO</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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>15 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	15 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	15 di 161								

## 5. PARAMETRI GEOTECNICI

I valori caratteristici dei parametri geotecnici e la stratigrafia di riferimento sono stati ottenuti mediante l'interpretazione di prove e misure effettuate in sito.

Di seguito si riportano i valori caratteristici dei parametri geotecnici della stratigrafia:

- Terreno – Strato 1 (0.0 ÷ 1.5 m)

Descrizione: Unità D Limo con argilla, debolmente sabbioso.

- Coesione efficace  $c' = 0 - 10$  kPa
- Angolo di resistenza al taglio  $\varphi = 26^\circ - 28^\circ$
- Modulo di deformabilità  $E = 8 - 10$  MPa
- Peso per unità di volume  $\gamma = 18.0 - 19.0$  kN/m<sup>3</sup>

- Terreno – Strato 2 (1.5 ÷ 14.5 m)

Descrizione: Unità B Ghiaia eterometrica, con clasti poligenici arrotondati, con sabbia da grossolana, talora debolmente limosa.

- Coesione efficace  $c' = 0$  kPa
- Resistenza non drenata  $c_u = -$  kPa
- Angolo di resistenza al taglio  $\varphi' = 40^\circ - 44^\circ$
- Modulo di deformabilità  $E = 35 - 60$  MPa per  $0 > z > 10$ ,  $45 - 70$  MPa per  $z > 10$
- Peso per unità di volume  $\gamma = 20.0$  kN/m<sup>3</sup>

Il livello di falda a vantaggio di sicurezza è stato posto alla quota di imposta della fondazione.

	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

## 6. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

### 6.1 Vita nominale

La vita nominale di una costruzione, così come definita al punto 2.4.1 di [3], è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve essere usata per lo scopo al quale è destinata. Essa è la durata alla quale deve farsi espresso riferimento in sede progettuale, in relazione alla durabilità delle costruzioni, nel dimensionare le strutture ed i particolari costruttivi, nella scelta dei materiali e delle eventuali applicazioni e misure protettive per garantire il mantenimento della resistenza e della funzionalità. Facendo riferimento al punto 2.5.1.1.1 di [12] la vita nominale  $V_N$  delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato in Tab. 7:

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale [ $V_N$ ] <sup>(4)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI <sup>(2)</sup>	50
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE NUOVE AD ALTA VELOCITA' ( $V > 250$ km/h)	100
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE NUOVE NON AV ( $V \leq 250$ km/h)	75
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(3)</sup>

(1) - La medesima  $V_N$  si applica a tutte le opere dell'infrastruttura ferroviaria cui appartengono.

(2) - Rientrano in questa classe i raddoppi in affiancamento mentre interventi in variante planimetrica di infrastrutture esistenti di lunghezza superiore a 10 km devono classificarsi infrastrutture nuove.

(3) - Da definirsi per il singolo progetto.

(4) - La stessa  $V_N$  si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione di ponti e viadotti ferroviari.

Tab. 7 - Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie

In particolare, visto che la linea ferroviaria Torino – Venezia non rientra nell'elenco delle linee e tratte ferroviarie facenti parte del sistema "Sistema di grande viabilità ferroviaria" ai sensi dell'OPCM N°3274 del 2003 (cfr. Allegato 5 della parte II – Sezione 2 del MdP RFI [12]) l'opera in oggetto avrà una vita nominale  $V_N$  pari a 75 anni.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

## 6.2 Classe d'uso

La norma [3] attribuisce alle costruzioni, in funzione della loro destinazione d'uso e quindi delle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in conseguenza di un evento sismico, diverse classi d'uso; a ciascuna classe corrisponde un coefficiente d'uso CU.

Facendo riferimento al punto 2.5.1.1.2 di [12], la classe d'uso delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato in Tab. 8:

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [CU]
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE	C IV	2.0
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE AD ALTA VELOCITA' (V>250 km/h)	C III	1,5
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE NON STRATEGICHE	C II	1,0

Tab. 8 – Tabella della Classe d'uso e dei coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie

In particolare per l'opera in oggetto la classe d'uso a cui far riferimento sarà C = II, a cui corrisponde un coefficiente d'uso CU pari a 1,0.

## 6.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

In riferimento a quanto detto nei paragrafi precedenti, il periodo di riferimento  $V_R$  da prendere a riferimento per valutare le azioni sismiche sulla struttura è pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1,0 = 75 \text{ anni}$$

## 6.4 Tempo di ritorno dell'evento sismico

Fissato il periodo di riferimento  $V_R$  e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  (funzione dello stato limite considerato come indicato in tabella n.4.3), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  attraverso l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

Stati limite di esercizio ( $P_{VR}$ )	Stati limite ultimi ( $P_{VR}$ )
SLO – Stato limite di operatività (81%)	SLV – Stato limite di salvaguardia (10%)
SLD – Stato limite di danno (63%)	SLD – Stato limite di prevenzione del collasso (5%)

Tab. 9 – Stati limite secondo le NTC e relative probabilità di superamento  $P_{VR}$

Nel caso specifico in studio si fa riferimento allo stato limite SLV, cui corrisponde il seguente valore del tempo di ritorno dell'evento sismico:

$$T_R = 949 \text{ anni}$$

### 6.5 Accelerazione massima su suolo roccioso

Il valore di accelerazione orizzontale massima nello specifico sito di interesse va determinato con riferimento ai valori puntuali già definiti per un'apposita griglia (10x10km) da uno studio dell'INGV e riassunti nelle tabelle di cui all'allegato B delle NTC08 a cui si rimanda.

In particolare, il valore al sito viene definito mediando (in funzione della distanza) l'entità dell'accelerazione caratteristica dei 4 nodi più prossimi al sito stesso come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [ $F_0$  e  $T^*_c$ ]):

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g,i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

$a_g$  = accelerazione massima suolo tipo A nel sito;

$a_{g,i}$  = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo punto;

$d_i$  = distanza del sito da i-esimo punto

Qualora la pericolosità sismica su reticolo di riferimento (cfr. Allegato B delle NTC DM 14 Gennaio 2008) non contempli il periodo di ritorno corrispondente al  $V_R$ , ed alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  fissate in progetto, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ ) ad esso

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- $p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato;
- $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC08; in particolare per le opere del tratto in esame, come riportato nelle tabelle 6.3 e 6.4 della relazione geotecnica per i diversi stati limite (SLD eSLV), si ha:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.017	2.503	0.168
SLD	75	0.021	2.554	0.180
SLV	712	0.041	2.647	0.293
SLC	1462	0.048	2.702	0.316

Alla base dei calcoli si sono considerati i valori massimi dei parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ) di cui alla tabella relativi agli stati limite ed al tempo di ritorno considerati di seguito riportata

STATI LIMITE	Classe d'uso II ( $V_R = 75$ anni)			
	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (-)
SLD	75	<b>0.021</b>	2.554	0.180
SLV	712	<b>0.041</b>	2.647	0.293

Tab. 10 – Valori massimi dei parametri sismici in sito ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ )

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

## 6.6 Parametri di risentimento in superficie

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i seguenti parametri:

- Parametro  $S_S$ : Effetti stratigrafici;
- Parametro  $S_T$ : Effetti topografici.

### 6.6.1 Effetti stratigrafici

Il parametro  $S_S$  che tiene conto degli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia, viene calcolato in funzione della categoria di sottosuolo e della sismicità locale.

Nel caso specifico in studio si assume quanto segue (vedere anche relazione geotecnica):

Categoria di suolo tipo **B**

- $S_S = 1.20$

### 6.6.2 Effetti topografici

Per quanto concerne gli effetti topografici si fa riferimento alla tabella n.3.2.VI delle NTC2018. Nel caso specifico in studio (terreno pressoché pianeggiante) si assume:

- Categoria pendio: T1
- $S_T = 1.0$

## 6.7 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima orizzontale al sito ( $a_{\max}$ ) è calcolata come prodotto dell'accelerazione al substrato ( $a_g$ ) e dei fattori di amplificazione ( $S_S$  ed  $S_T$ ).

Si ottiene pertanto:

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

da cui:

$$a_{\max} \cong 1.2 \cdot 1 \cdot 0.021 = \mathbf{0.025g} \quad (\text{SLD})$$

$$a_{\max} \cong 1.2 \cdot 1 \cdot 0.041 = \mathbf{0.04g} \quad (\text{SLV})$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi considerata nel calcolo delle sollecitazioni sulle strutture in oggetto. La sezione considerata è quella in corrispondenza dell'asse ferroviario.

### 7.1 Pesì propri

I carichi permanenti sono costituiti dai pesi propri delle strutture portanti e sono valutati automaticamente dal programma di calcolo a partire dalla geometria del problema e dai pesi specifici dei materiali.

#### Pesi propri

---

Peso specifico del calcestruzzo  $\gamma_c = 25,00$  [kN/m<sup>3</sup>]

---

Il peso dei differenti elementi strutturali riguarda:

- soletta di fondazione;
- piedritti;
- soletta di copertura.

### 7.2 Permanenti non strutturali

I carichi permanenti non strutturali agenti sulla soletta superiore sono i seguenti:

- peso del ballast e armamento;
- peso dell'eventuale terreno di ricoprimento sopra la soletta superiore.

<b>Pesi permanenti non strutturali</b>			
	peso specifico	spessore	carico distribuito
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
ballast e armamento	18.00	0.80	14.40
terreno di ricoprimento	20.00	0.00	0.00
		<b>g<sub>2</sub></b>	<b>14.40</b>

Per tener conto della differenza tra la larghezza geometrica effettiva del tombino idraulico e quella di calcolo, si incrementa il carico distribuito dei pesi permanenti non strutturali del rapporto tra le due larghezze, ottenendo un carico distribuito equivalente:

Geometria e geometria di calcolo			
Larghezza	B	1.74	[m]
Larghezza di calcolo	B <sub>c</sub>	1.34	[m]
Rapporto B/B <sub>c</sub>	r=B/B <sub>c</sub>	<b>1.30</b>	

Pesi permanenti non strutturali equivalenti			
	peso specifico	spessore	carico distribuito equivalente
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
ballast e armamento	18.00	0.80	18.70
terreno di ricoprimento	20.00	0.00	0.00
	<b>g<sub>2,eq</sub>=g<sub>2</sub>*r</b>		<b>18.70</b>

### 7.3 Spinta statica del terreno

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali dello scatolare sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a:

$$S_1 = k_0 \cdot \gamma'_t \cdot \frac{H}{2}$$

dove:

- $k_0$  è il coefficiente di spinta a riposo;
- $\gamma'_t$  è il peso specifico efficace del terreno;
- $H$  è l'altezza del piedritto

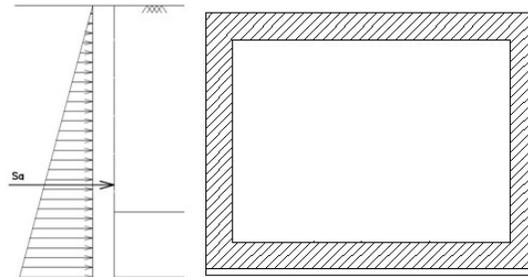
La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$ .

$$k_0 = 1 - \sin \varphi =$$

Per i tre strati di terreno che interessano il tombino in esame si ha:

	angolo di attrito $\varphi$ [°]		
strato 1	27	$k_{01} = 1 - \sin \varphi_1$	0.546
strato 2	42	$k_{01} = 1 - \sin \varphi_2$	0.331

Con questi valori si valutano i valori delle spinte sulle pareti.



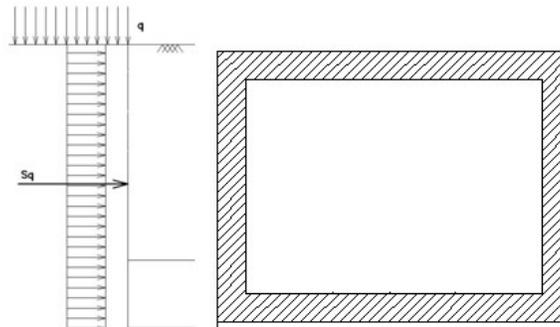
Tab. 11 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

#### 7.4 Spinta dovuta al sovraccarico permanente

Per considerare la presenza di un sovraccarico permanente gravante a tergo dello scatolare si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro associata è pari a:

$$S_2 = k_0 \cdot q \cdot H$$

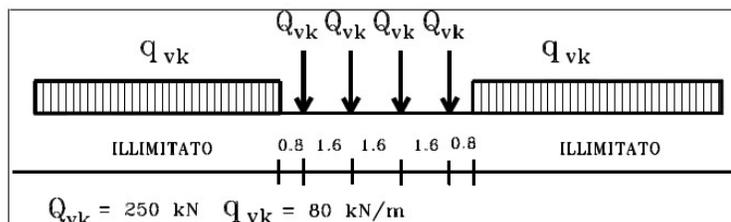
Nella relazione "q" rappresenta il carico variabile per unità di superficie.



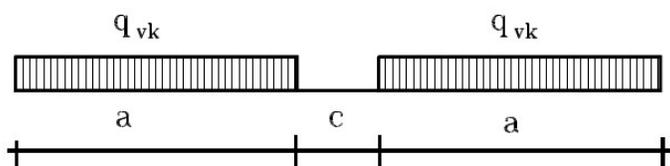
Tab. 12 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

#### 7.5 Carichi mobili da traffico ferroviario

Il carico variabile associato al traffico ferroviario si determina in accordo con il paragrafo 5.2.2.2.1 delle NTC 2018, considerando il peggiore tra il carico verticale del treno LM71 (traffico normale) e il carico verticale del treno SW/2 (traffico pesante).



Tab. 13 – Treno di carico LM71



Tab. 5.2.I - Caratteristiche Modelli di Carico SW

Tipo di Carico	$q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Tab. 14 – Treno di carico SW

Il carico ferroviario si moltiplica per il coefficiente di adattamento e per il coefficiente di amplificazione dinamica. Per quanto riguarda il coefficiente di adattamento, per ponti di categoria A, questo assume il valore mostrato in Tab. 15.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

Tab. 15 – Coefficienti di adattamento

Per il treno di carico LM71, si considera la situazione più gravosa con il carico distribuito trasmesso dai quattro assi. Tale carico si distribuisce longitudinalmente su una lunghezza di 6.40 m. Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il peggiore tra il carico verticale del treno SW/2 pari a 150.00 kN/m x 1.00 = 150.00 kN/m e il carico verticale del treno LM71 pari a: 1000.00 kN / 6.4 m x 1.10 = 171.87 kN/m per il carico concentrato e di 80.00 kN/m x 1.10 = 88.00 kN/m per il carico distribuito. Tali

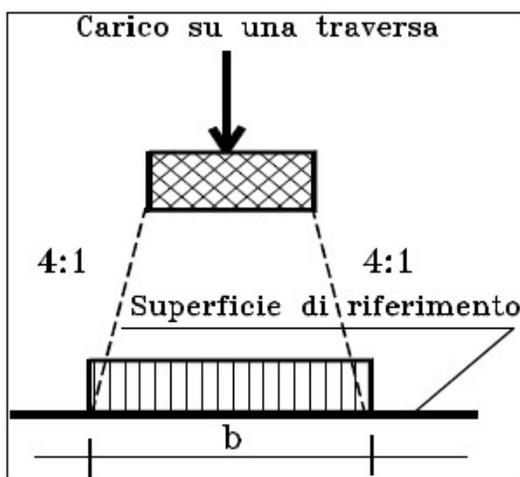
	<p>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.          TRATTA TORINO - MILANO.          NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO          PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>25 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	25 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	25 di 161								

carichi si considerano poi come uniformemente distribuiti su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura.

Per il caso in esame si applicherà sia il carico dovuto al treno LM71 che SW. La disposizione del carico viene effettuata tenendo conto di tutte le possibilità disposizioni sui due binari.

### 7.5.1 Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili

Il carico distribuito longitudinalmente si distribuisce trasversalmente in modo da definire il carico per unità di superficie associato. La diffusione del carico si sviluppa su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta. La diffusione dei carichi attraverso ballast avviene con pendenza 4:1, attraverso il ricoprimento (qualora presente) con angolo di attrito e nella soletta con pendenza 1:1.



Tab. 16 – Diffusione longitudinale del carico ferroviario

### 7.5.2 Coefficiente di amplificazione dinamica

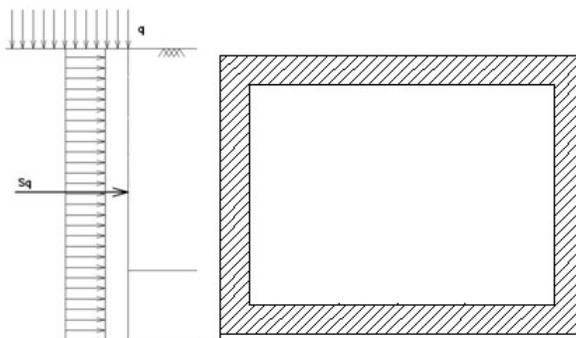
Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli. Tale coefficiente si determina in accordo con paragrafo 5.2.2.3.3 delle NTC 2018. La linea ferroviaria si considera soggetta ad un ridotto standard manutentivo. Per la lunghezza caratteristica si considera il caso delle strutture scatolari.

## 7.6 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Per considerare la presenza di un sovraccarico accidentale associato al traffico gravante a tergo dello scatolare si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro associata è pari a:

$$S_2 = k_0 \cdot q \cdot l$$

Nella relazione "q" rappresenta il carico variabile per unità di superficie.



Tab.17 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

## 7.7 Azione di avviamento / frenatura

Si associano al convoglio di progetto le azioni di avviamento del carico LM71 in quanto maggiormente gravose per la struttura in esame. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento, determinato in accordo con il paragrafo 5.2.2.3.3 delle NTC 2018.

I valori caratteristici da considerare sono i seguenti:

avviamento:  $Q_{la,k} = 33 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}] \leq 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71, SW/0, SW/2

frenatura:  $Q_{fb,k} = 20 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}] \leq 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71, SW/0

$Q_{fb,k} = 35 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}]$  per modelli di carico SW/2

## 7.8 Azione centrifuga

La forza centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1,80 m al di sopra del P.F. Tale azione si determina in accordo con il paragrafo 5.2.2.3.1 delle NTC 2018. Le azioni centrifughe sono state valutate secondo le seguenti espressioni:

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha Q_{tk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha Q_{tk}) \quad [5.2.9.a]$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha q_{tk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha q_{tk}) \quad [5.2.9.b]$$

dove:

$Q_{tk}$ - $q_{tk}$  = valore caratteristico della forza centrifuga [kN -kN/m];

$Q_{vk}$ - $q_{vk}$  = valore caratteristico dei carichi verticali [kN -kN/m];

$\alpha$  = coefficiente di adattamento;

$v$  = velocità di progetto espressa in m/s;

$V$  = velocità di progetto espressa in km/h;

$f$  = fattore di riduzione (definito in seguito nella 5.2.10);

$g$  = accelerazione di gravità in m/s<sup>2</sup>;

$r$  = raggio di curvatura in m.

Le azioni centrifughe si valutano secondo quanto riportato nella seguente tabella Tab. 18.

Valore di $\alpha$	Massima velocità della linea [Km/h]	Azione centrifuga basata su:			traffico verticale associato
		V	$\alpha$	f	
SW/2	$\geq 100$	100	1	1	$\Phi \times 1 \times SW/2$
	$< 100$	V	1	1	
LM71 e SW/0	$> 120$	V	1	f	$\Phi \times 1 \times 1 \times (LM71^{1+} + SW/0)$
		120	$\alpha$	1	
	$\leq 120$	V	$\alpha$	1	$\Phi \times \alpha \times 1 \times (LM71^{1+} + SW/0)$

Tab. 18 – Parametri per determinazione della forza centrifuga

Tali azioni viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali. Tale azione non si considera per lo studio della fondazione in quanto la linea ferroviaria si trova in rettilineo.

## 7.9 Azione di serpeggio

L'azione di serpeggio si determina in accordo con il paragrafo 5.2.2.3.2 delle NTC 2018. La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a  $Q_{sk} = 100.00$  kN. Tale valore deve essere moltiplicato per  $\alpha$ , (se  $\alpha > 1$ ), ma non per il coefficiente  $\phi$ . Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale azione viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali, mentre si considera nell'analisi longitudinale dello scatolare. Tale azione si prende a riferimento per lo studio geotecnico della fondazione superficiale.

### 7.10 Azione del sisma

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati, a vantaggio di sicurezza, i seguenti valori:  $V_N=75$  anni e classe d'uso II a cui corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U = 1.00$ . La vita di riferimento  $V_R$  è quindi pari a 75 anni. I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

- Classe d'uso: II;
- Coefficiente d'uso  $C_U = 1.0$ ;
- Vita nominale  $V_N = 75$  anni;
- Categoria di suolo: B;
- Condizione topografica: T1;
- Fattore di struttura  $q = 1$ .

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati a seguire.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE  
8.6179

LATTITUDINE  
45.4415

REGIONE  
Piemonte

PROVINCIA  
Novara

COMUNE  
Novara

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Reticolo di riferimento**



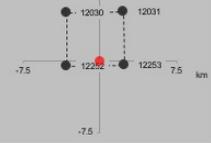
Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione  
superficie rigata

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

**Nodi del reticolo intorno al sito**



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_u$   info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="45"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="75"/>

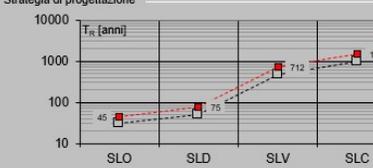
Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="712"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1462"/>

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO      FASE 1      **FASE 2**      FASE 3

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.017	2.503	0.168
SLD	75	0.021	2.554	0.180
SLV	712	0.041	2.647	0.293
SLC	1462	0.048	2.702	0.316

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

Categoria topografica  info

$S_T = 1.200$  info       $C_c = 1.406$  info

$h/H = 0.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  [%]        $\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore q       Regol. in altezza  info

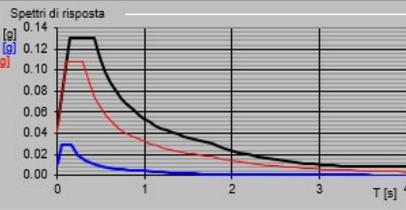
Compon. verticale

Spettro di progetto      Fattore q        $\eta = 1/q = 1.000$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

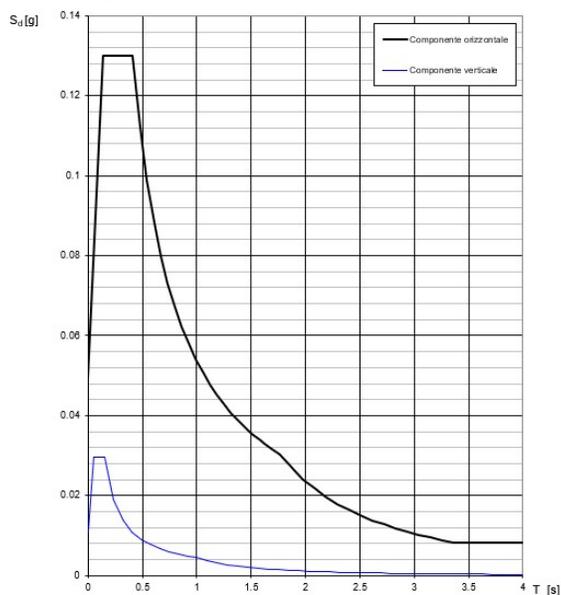
— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

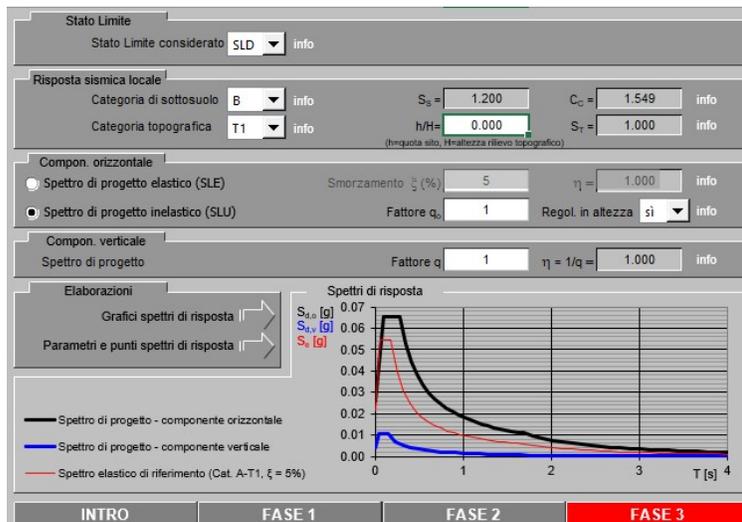
INTRO      FASE 1      FASE 2      **FASE 3**

Di seguito si riporta a titolo di esempio lo **spettro di progetto** per lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV** relativamente alle componenti **orizzontali**, con coefficiente di smorzamento strutturale canonico pari al 5%.

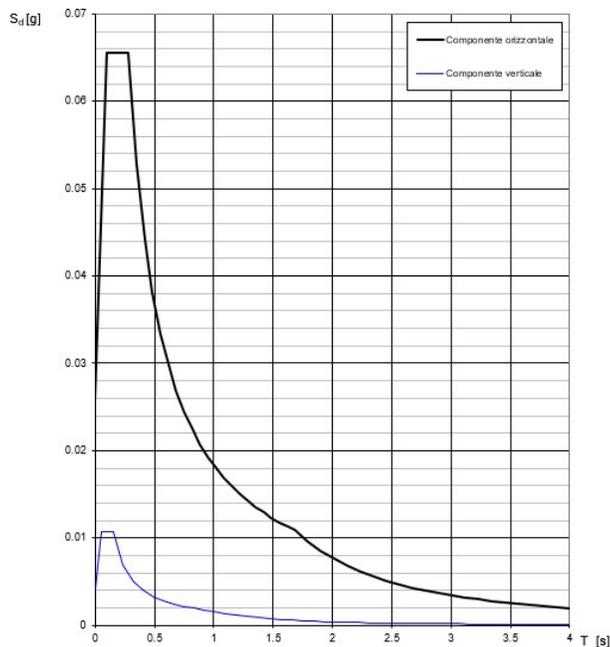
Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato II SLV



Di seguito si riporta a titolo di esempio lo **spettro di progetto** per lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita SLD** relativamente alle componenti **orizzontali**, con coefficiente di smorzamento strutturale canonico pari al 5%.



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLD**



	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

### 7.11 Ritiro del calcestruzzo

Gli effetti del ritiro del calcestruzzo sono valutati impiegando i coefficienti indicati al punto 11.2.10.6 delle NTC 2018. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione per ritiro da essiccamento e della deformazione da ritiro autogeno. Il ritiro è stato applicato mediante una variazione termica equivalente pari a 10°, ed un'umidità relativa del 75% a 7 gg.

Il fenomeno del ritiro è stato applicato solo alla soletta di copertura.

### 7.12 Variazione termica

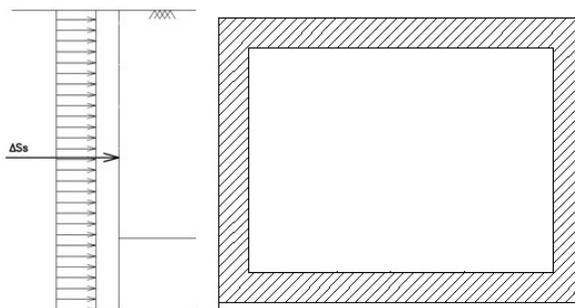
La variazione termica applicata sulla struttura è pari a  $\Delta T = +15^{\circ}\text{C}$ , con una variazione termica aggiuntiva a farfalla pari a  $\Delta T = +5^{\circ}\text{C}$  applicata sulle solette di copertura.

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} = 0.00001$$

### 7.13 Sovrappinta sismica

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovrappinta sismica è calcolata con la teoria di Wood, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad H/2.



Tab. 19 – Schema per il calcolo degli effetti della sovrappinta sismica del terreno

### 7.14 Combinazioni dei carichi

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

- combinazione fondamentale (SLU):

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO <b>00 D 11</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>RI0003 001</b>	REV. <b>A</b>

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- combinazione Rara (SLE irreversibile):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- combinazione Frequente (SLE reversibile):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella seguente.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	1	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc.)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tab. 20 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione  $\psi$  delle tabelle seguenti.

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	34 di 161

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

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

Tab. 21 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Per la sovrastruttura ferroviaria si considerano i coefficienti in tabella 5.2.VI e 5.2.VII delle NTC 2018.

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$g_{r1}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_{r2}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	$g_{r3}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_{r4}$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione SLU e SLE	0,80 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

<sup>(1)</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico varanno assunti pari a 0,0.

Tab. 22 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.

Tab. 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

	Azioni	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 <sup>(1)</sup>	(1)	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 <sup>(1)</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>(1)</sup>	-	-
	Centrifuga	(2) (3)	(2)	(2)
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>(1)</sup>	0,80	0,0

<sup>(1)</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>(2)</sup> Si usano gli stessi coefficienti  $\psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni.

<sup>(3)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 23 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Si riportano di seguito le combinazioni di carico utilizzate per le verifiche strutturali e geotecniche.

Le combinazioni riportate si distinguono nei seguenti sottogruppi:

NUMERO	COMBINAZIONI	GRUPPO CARICHI MOBILI FERROVIARI	AZIONE PRINCIPALE
1-26	SLU	1	CARICHI MOBILI
26-52	SLU	1	AZIONE TERMICA
53-70	SLU	3	CARICHI MOBILI
71-86	SISMICA	-	-
87-104	SLE-RARA	4	CARICHI MOBILI
105-122	SLE-RARA	4	AZIONE TERMICA
123-140	SLE-RARA	1	CARICHI MOBILI
141-158	SLE-RARA	1	AZIONE TERMICA
159-176	SLE-RARA	3	CARICHI MOBILI
177-194	SLE-RARA	3	AZIONE TERMICA
195-212	SLE-FREQUENTE	1	CARICHI MOBILI
213-230	SLE-FREQUENTE	3-4	CARICHI MOBILI
231-232	SLE-QUASI PERMANENTE	1-3-4	-

	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>36 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	36 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	36 di 161								

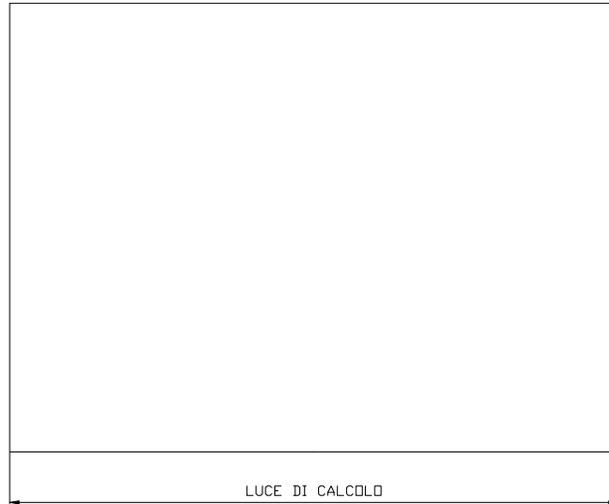
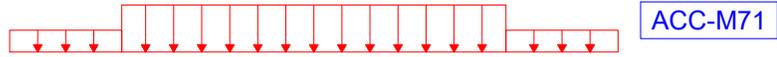
Nelle matrici di combinazioni presentate i casi di carico sono i seguenti:

- PERM:** carichi permanenti strutturali;
- PERM-G2:** carichi permanenti non strutturali;
- ACC-M71:** carichi da traffico concentrato (disposizione per massimizzare il momento);
- ACC-T71:** carichi da traffico concentrato (disposizione per massimizzare il taglio);
- AVV:** azione di accelerazione e frenatura;
- SPTSX:** spinta del terreno statica sulla parete sinistra;
- SPTDX:** spinta del terreno statica sulla parete destra;
- SPQSX71:** spinta del terreno statica sulla parete sinistra per il sovraccarico accidentale LM71;
- SPQDX71:** spinta del terreno statica sulla parete destra per il sovraccarico accidentale LM71;
- ACC-SW:** carichi da traffico distribuito;
- SPQSXSW:** spinta del terreno statica sulla parete sinistra per il sovraccarico accidentale SW;
- SPQDXSW:** spinta del terreno statica sulla parete destra per il sovraccarico accidentale SW
- TERM :** azione termica;
- RITIRO:** azione da ritiro;
- SISMAH:** azione sismica sulla struttura dello scatolare;
- SISMAV:** azione sismica verticale sulla struttura dello scatolare;
- SPSDX:** sovraspinta sismica del terreno.

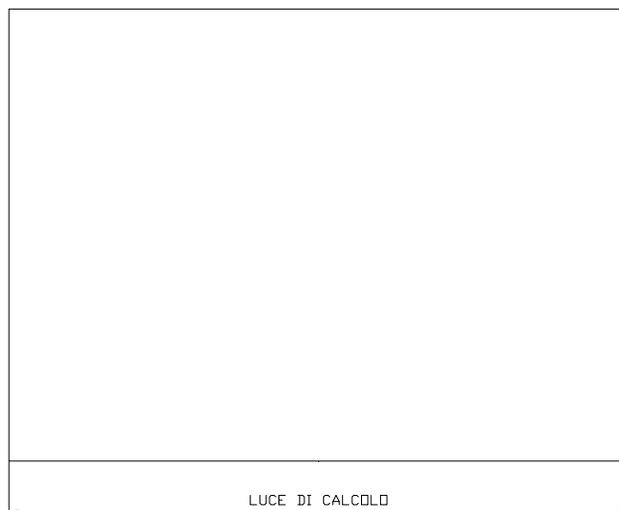
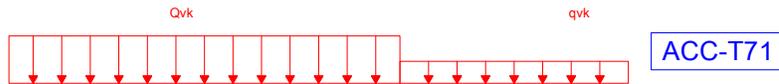
Nelle immagini che seguono si mostrano le generiche disposizioni relative ai casi di carico da traffico concentrato ACC-M71 e ACC-T71, relative rispettivamente alla massimizzazione del momento flettente e del taglio:

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	37 di 161



Tab. 24 – Disposizione carico ACC-M71



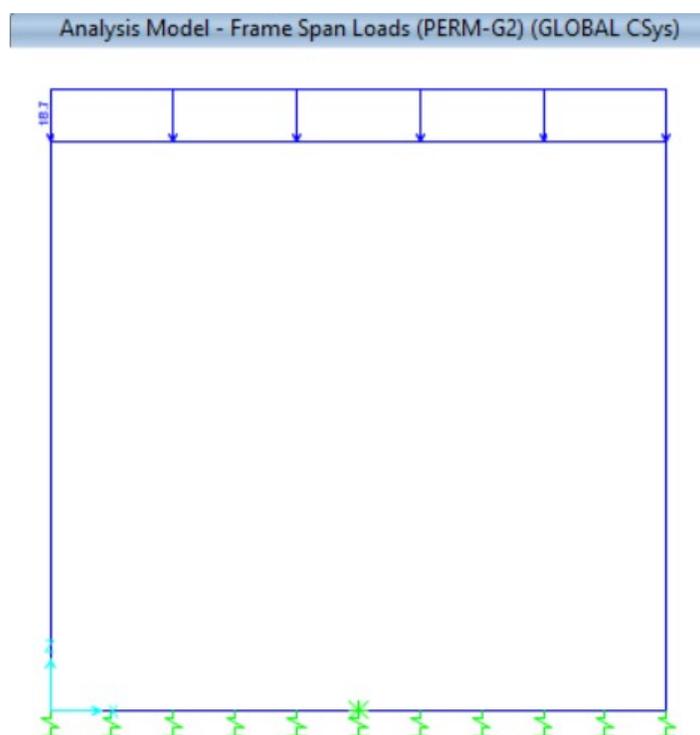
Tab. 25 – Disposizione carico ACC-T71

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	38 di 161

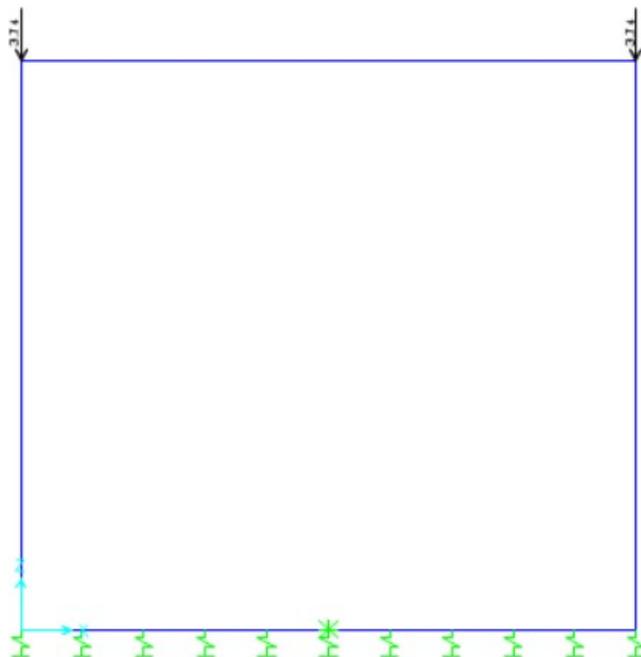
Si fa notare che tali disposizioni di carico sono distinte solo per luci di calcolo maggiori della lunghezza del carico LM71 pari a 6.40m, in caso contrario esse sono coincidenti tra loro e pari alla condizione ACC-M71. Nelle pagine che seguono si riportano i casi ACC-M71 e ACC-T71 per lo scatolare in esame.

Di seguito si riportano le immagini dei singoli casi di carico con i valori applicati al modello:



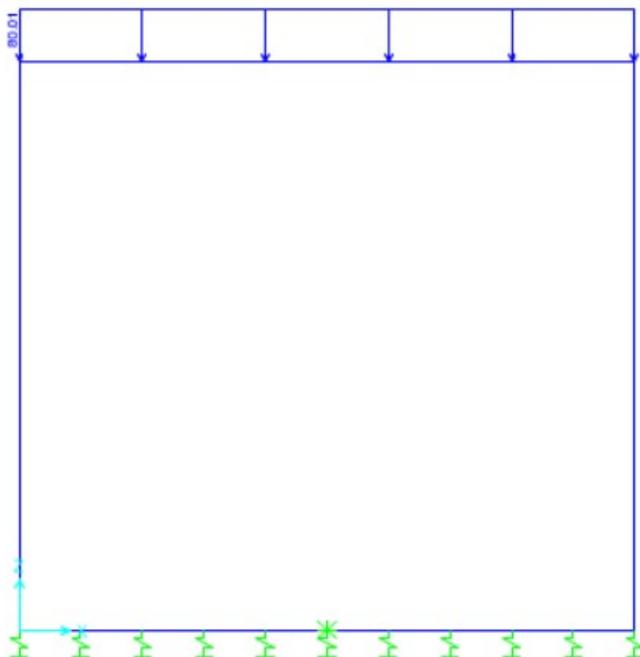
Tab. 26 –Modello - PERM-G2: carichi permanenti non strutturali

Analysis Model - Joint Loads (PERM-G2) (GLOBAL CSys)



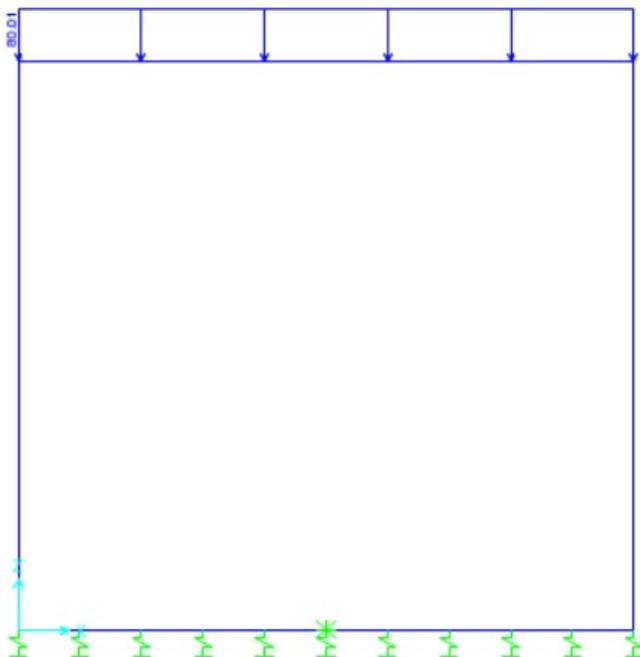
Tab. 27 –Modello - PERM-G2: carichi permanenti non strutturali

Analysis Model - Frame Span Loads (ACC-M71) (GLOBAL CSys)



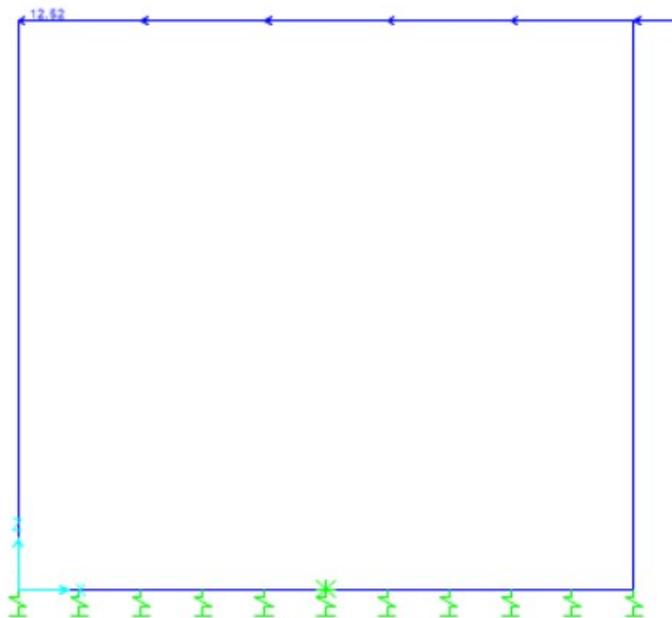
Tab. 28 -Modello - ACC-M71: carichi da traffico concentrato

Analysis Model - Frame Span Loads (ACC-T71) (GLOBAL CSys)



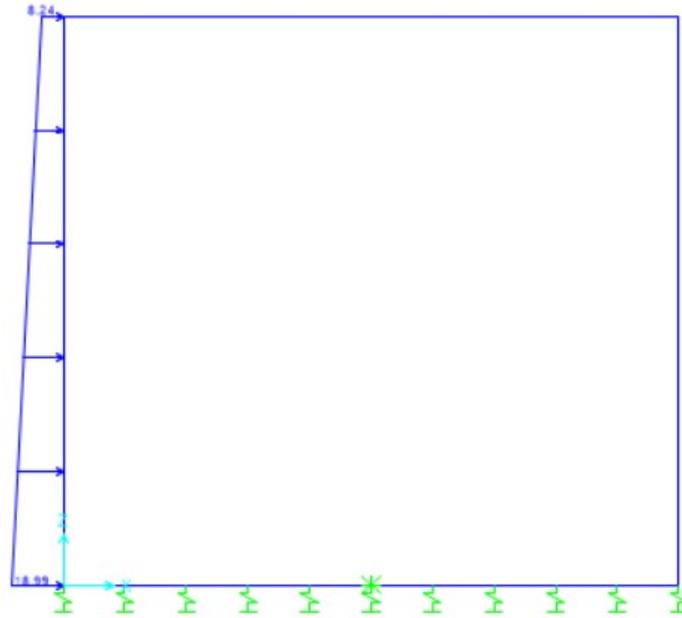
Tab. 29 - Modello - ACC-T71: carichi da traffico concentrato

Analysis Model - Frame Span Loads (AVV) (GLOBAL CSys)



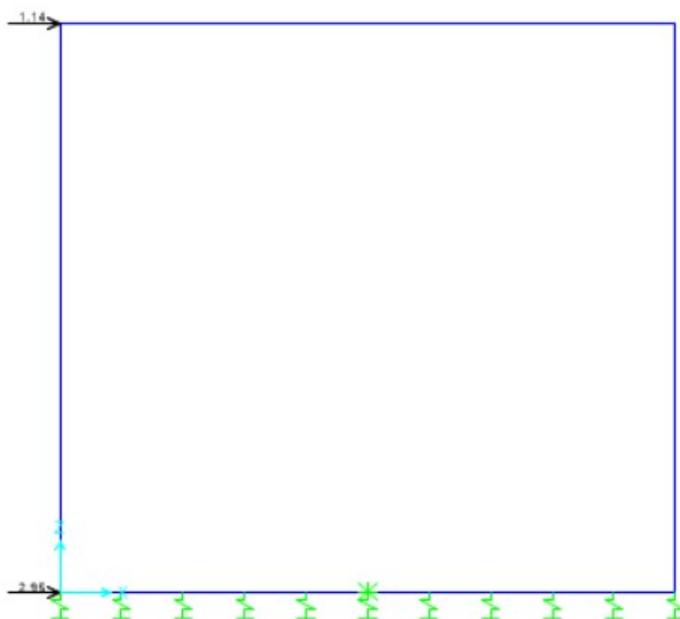
Tab. 30 -Modello - AVV: azione di accelerazione e frenatura

Analysis Model - Frame Span Loads (SPTSX) (GLOBAL CSys)



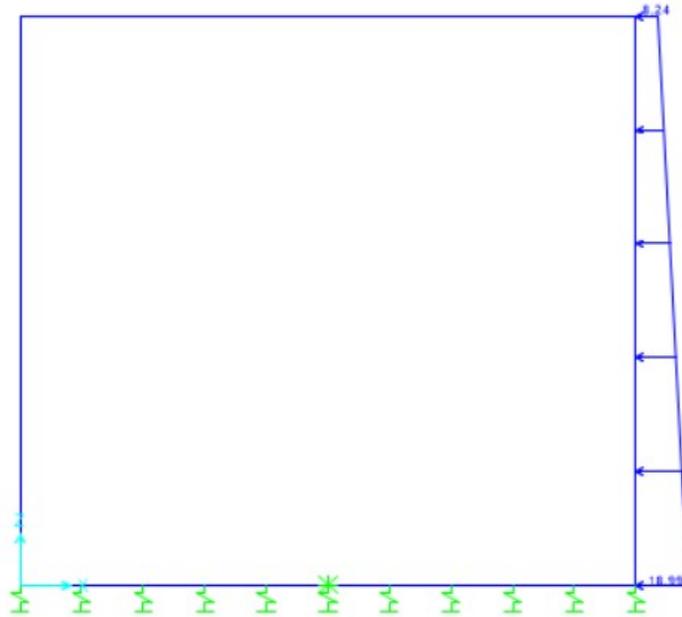
Tab. 31 –Modello - SPTSX: spinta del terreno statica sulla parete sinistra

Analysis Model - Joint Loads (SPTSX) (GLOBAL CSys)



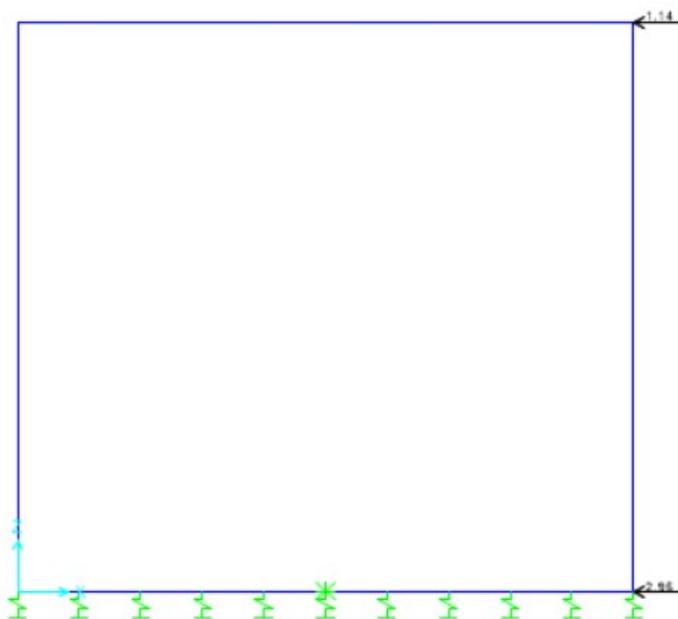
Tab. 32 –Modello - SPTSX: spinta del terreno statica sulla parete sinistra

Analysis Model - Frame Span Loads (SPTDX) (GLOBAL CSys)



Tab. 33 -Modello - SPTDX: spinta del terreno statica sulla parete destra

Analysis Model - Joint Loads (SPTDX) (GLOBAL CSys)

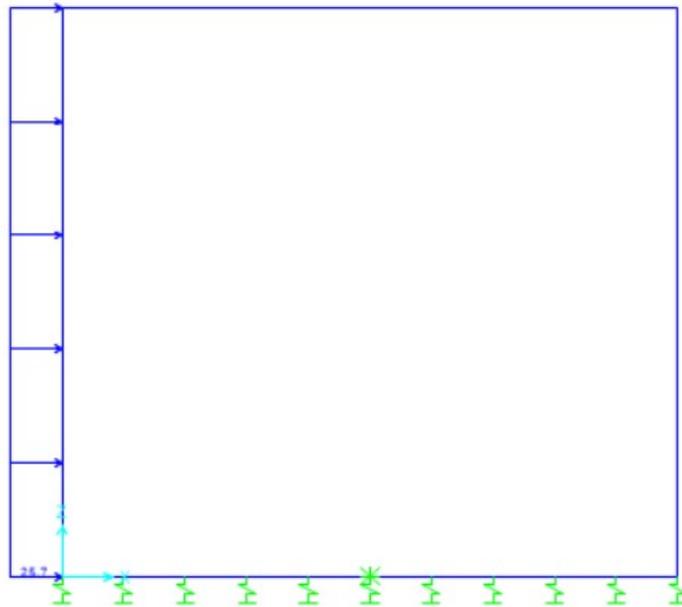


Tab. 34 -Modello - SPTDX: spinta del terreno statica sulla parete destra

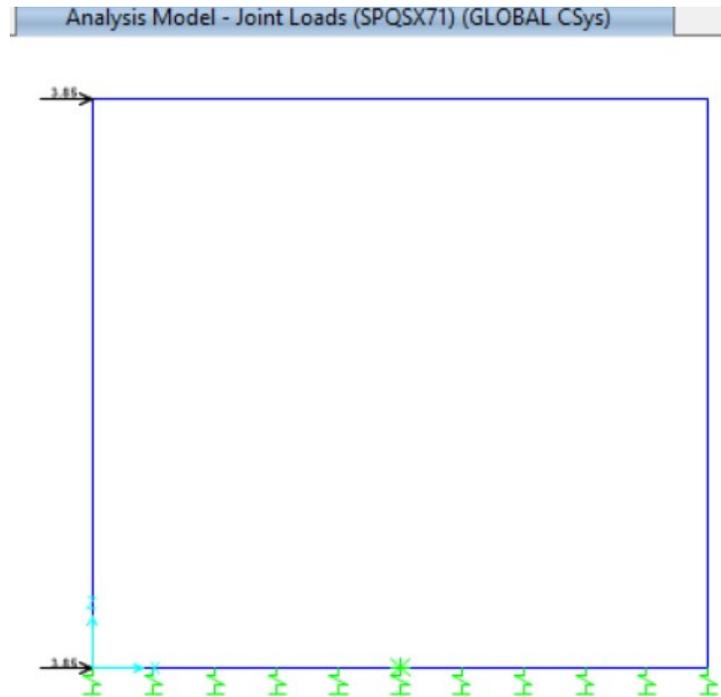
**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	47 di 161

Analysis Model - Frame Span Loads (SPQSX71) (GLOBAL CSys)

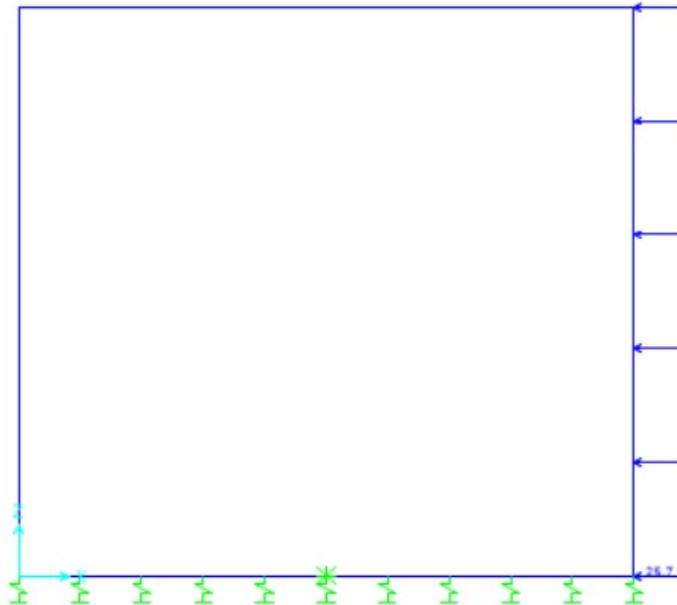


Tab. 35 –Modello - SPQSX71: spinta del terreno statica sulla parete sinistra per il sovraccarico accidentale LM71



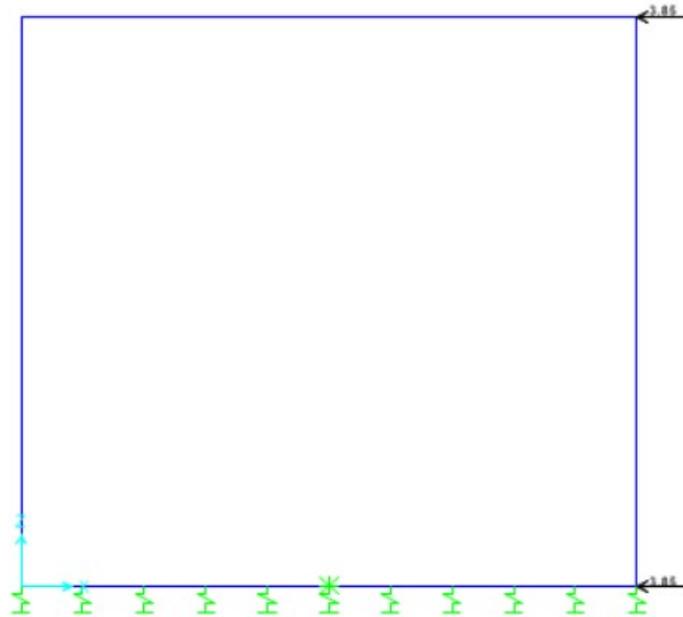
Tab. 36 –Modello - SPQSX71: spinta del terreno statica sulla parete sinistra per il sovraccarico accidentale LM71

Analysis Model - Frame Span Loads (SPQDX71) (GLOBAL CSys)

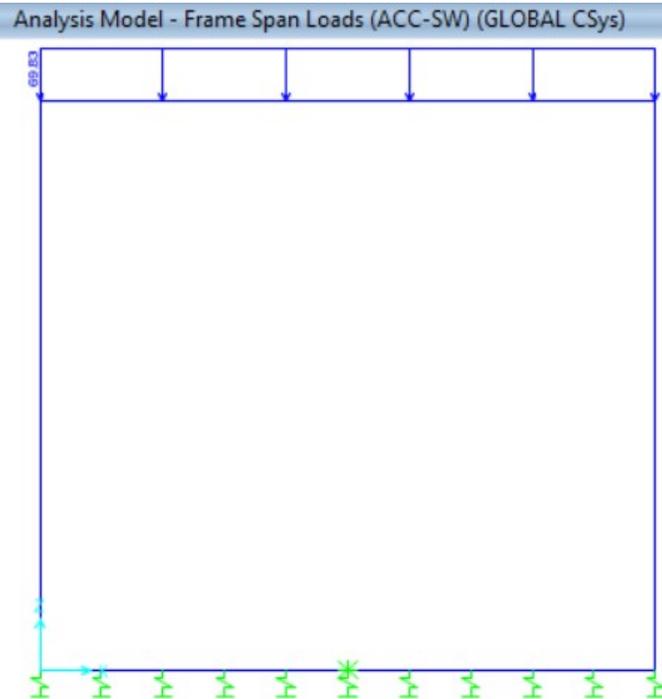


Tab. 37 –Modello - SPQDX71: spinta del terreno statica sulla parete destra per il sovraccarico accidentale LM71

Analysis Model - Joint Loads (SPQDX71) (GLOBAL CSys)

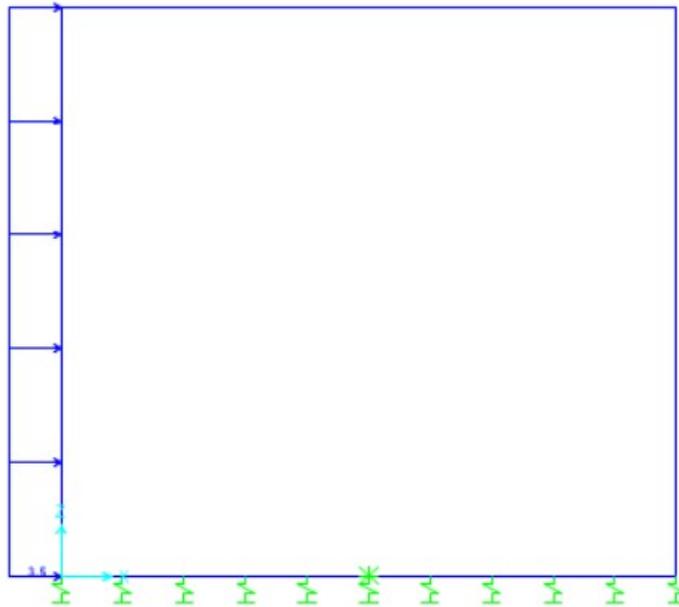


Tab. 38 –Modello - SPQDX71: spinta del terreno statica sulla parete destra per il sovraccarico accidentale LM71

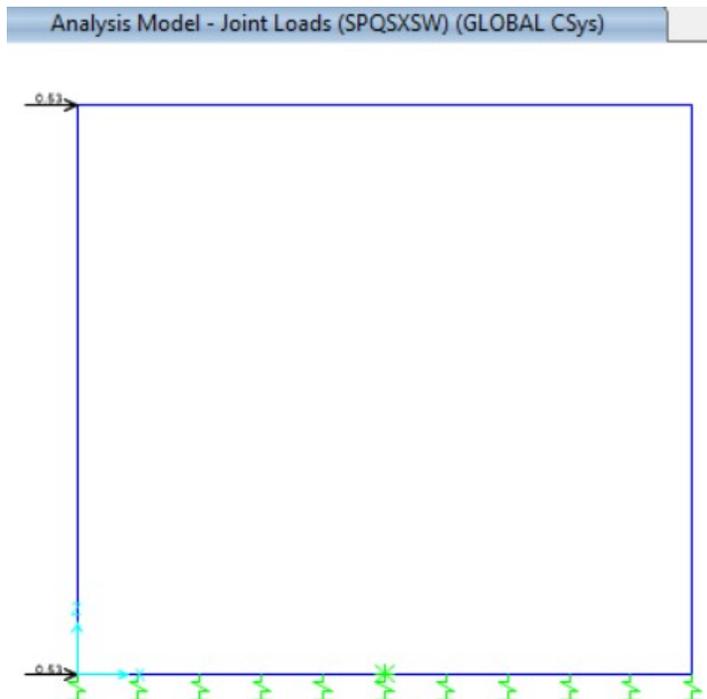


Tab. 39 - Modello - ACC-SW: carichi da traffico distribuito

Analysis Model - Frame Span Loads (SPQSXSXSW) (GLOBAL CSys)

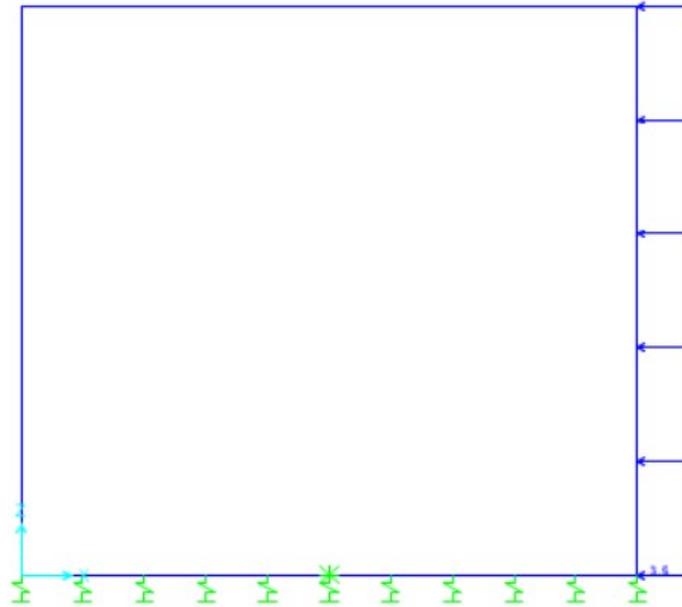


Tab. 40 - Modello - SPQSXSXSW: spinta del terreno statica sulla parete sinistra per il sovraccarico accidentale SW



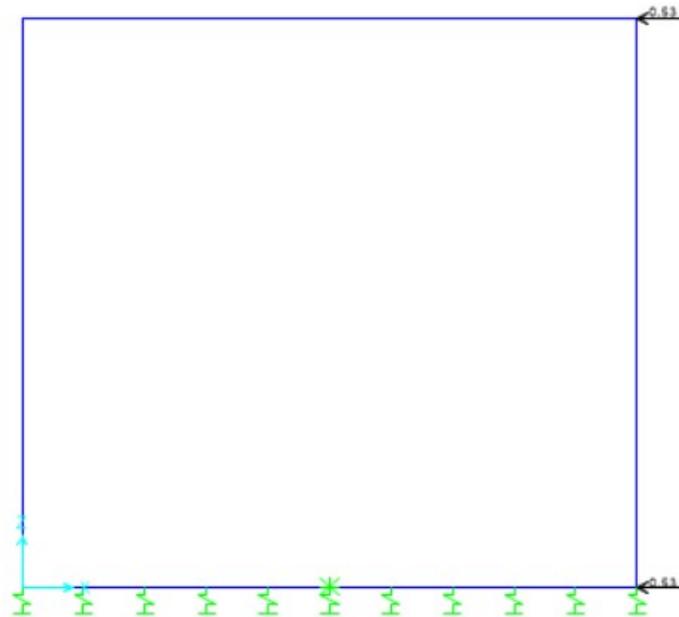
Tab. 41 –Modello - SPQSXSW:spinta del terreno statica sulla parete sinistra per il sovraccarico accidentale SW

Analysis Model - Frame Span Loads (SPQDXSW) (GLOBAL CSys)



Tab. 42 –Modello - SPQDXSW:spinta del terreno statica sulla parete destra per il sovraccarico accidentale SW

Analysis Model - Joint Loads (SPQDXSW) (GLOBAL CSys)

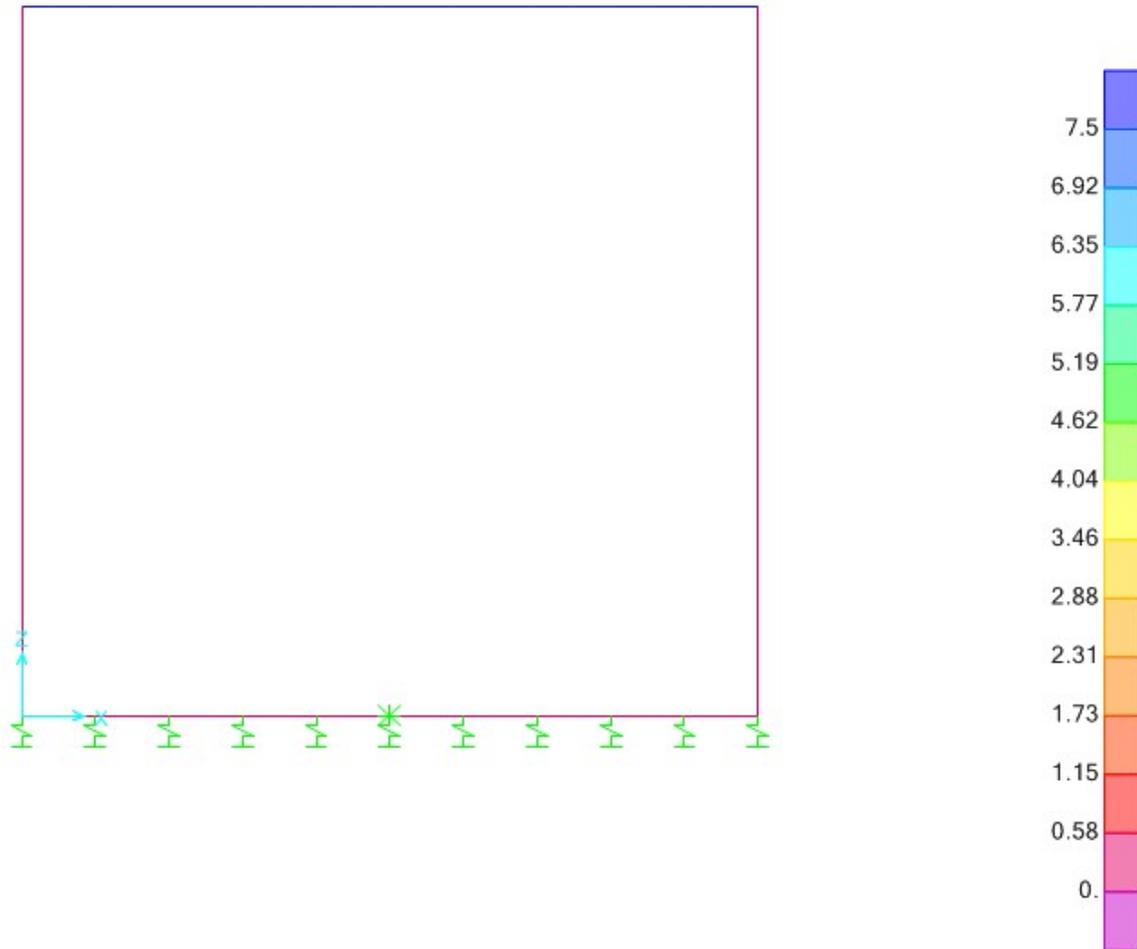


Tab. 43 –Modello - SPQDXSW:spinta del terreno statica sulla parete destra per il sovraccarico accidentale SW

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	56 di 161

Analysis Model - Frame Temperatures (TERM) ▾ X

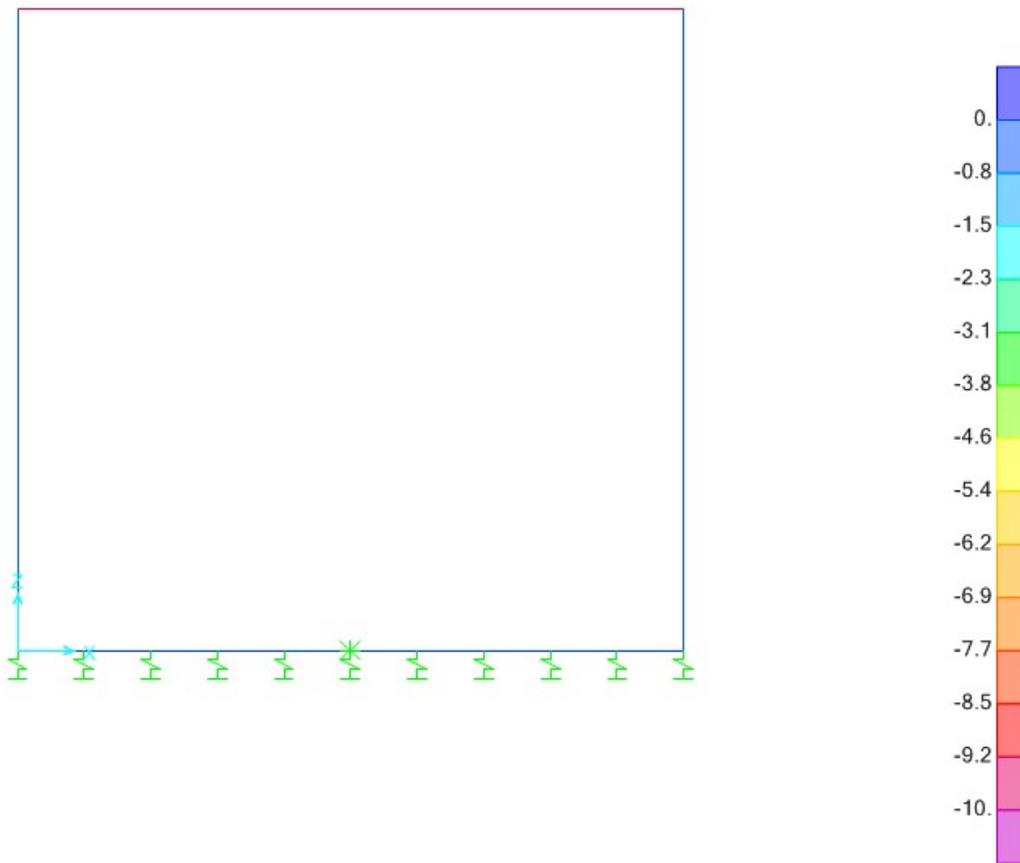


Tab. 44 -Modello - TERM : azione termica

**RELAZIONE DI CALCOLO**

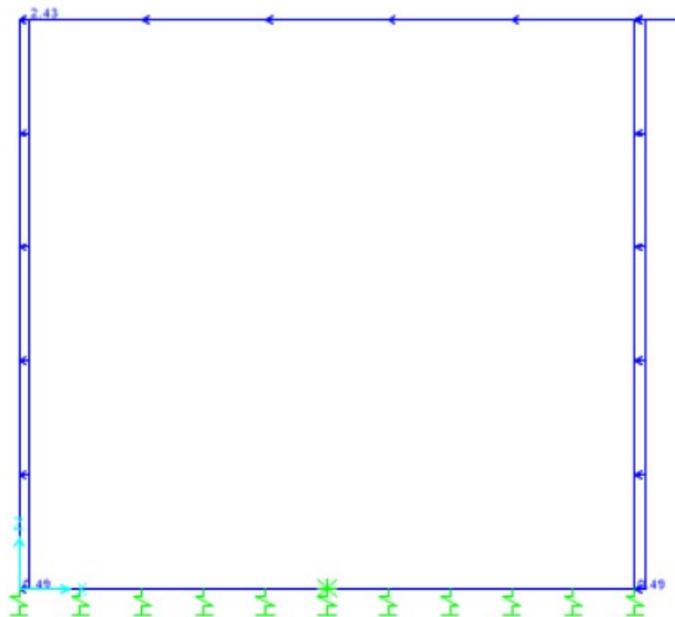
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	57 di 161

Analysis Model - Frame Temperatures (RITIRO) ▼ X

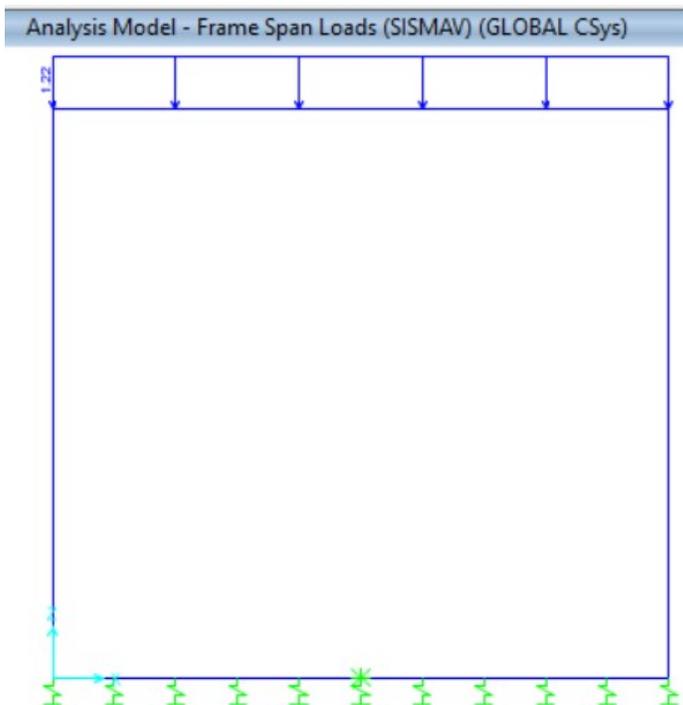


Tab. 45 - Modello - RITIRO: azione da ritiro

Analysis Model - Frame Span Loads (SISMAH) (GLOBAL CSys)

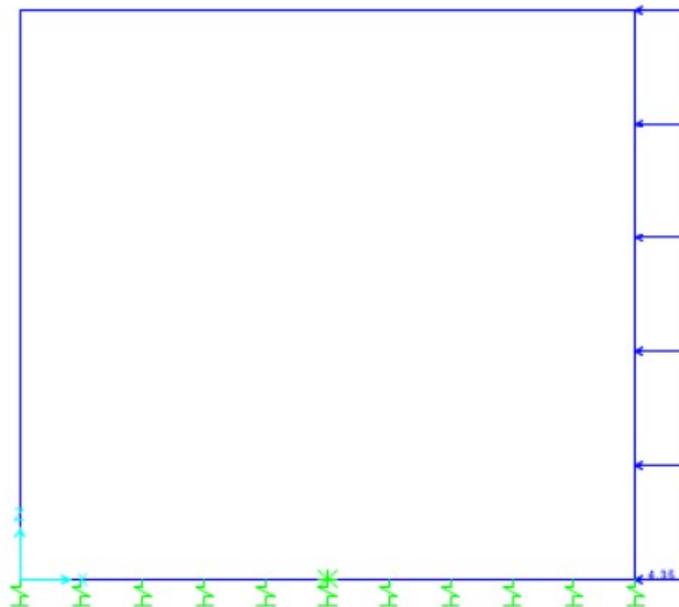


Tab. 46 –Modello - SISMAH: azione sismica sulla struttura dello scatolare



Tab. 47 -Modello - SISMAV: azione sismica verticale sulla struttura dello scatolare

Analysis Model - Frame Span Loads (SPSDX) (GLOBAL CSys)



Tab. 48 -Modello - SPSPDX: sovraspinta sismica del terreno

	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.          TRATTA TORINO - MILANO.          NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO          PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>61 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	61 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	61 di 161								

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche sono condotte nel rispetto di quanto dichiarato nel paragrafo 4.1.2 delle NTC 2018.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali condotte nel progetto. Ulteriori dettagli specifici, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

### 8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

### 8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti si esegue nel rispetto delle prescrizioni riportate al paragrafo 4.1.2.3 delle NTC 2018.

Per prima cosa si valuta il soddisfacimento delle verifiche considerando elementi strutturali senza armature trasversali resistenti a taglio (paragrafo 4.1.2.3.5.1 delle NTC 2018). Qualora tale verifica non risultasse soddisfatta si procede con il calcolo del taglio resistente considerando il caso di elementi con armature trasversali resistenti al taglio (paragrafo 4.1.2.3.5.2 delle NTC 2018).

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM14/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	62 di 161

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[ \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}, \text{ resistenza}$$

di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \alpha + \cot \vartheta) \cdot \text{sen} \alpha$$

, valore di progetto dello sforzo di taglio che può

essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento

$V_{Rd,max} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \vartheta) / (1 + \cot^2 \vartheta)$ , valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

con d in mm;

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

;

$A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd}$$

;

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

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

;

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$  è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

$A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

s è il passo delle staffe;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO</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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>63 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	63 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	63 di 161								

$f_{ywd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$  è la resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;

$\alpha_{cw} = 1$  è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

### 8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio secondo quanto riportato nel Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione ;
- stato limite di deformazione.

Le verifiche si eseguono considerando le combinazioni per come riportato nel Manuale 2 di Progettazione di RFI. Per la verifica sullo stato tensionale si prendono a riferimento le prescrizioni riportate al paragrafo 2.5.1.8.3.2.1 del Manuale 2 di Progettazione di RFI.

Per la verifica sullo stato fessurativo si prendono a riferimento le prescrizioni riportate al paragrafo 2.5.1.8.3.2.4 del Manuale 2 di Progettazione di RFI. Nel caso in esame considerando condizioni ambientali aggressive.

#### Stato limite delle tensioni in esercizio

Si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando:

$$\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente}$$

$$\sigma_s < 0.75 \cdot f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

### Stato limite di fessurazione

Si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura determinato in funzione della classe di esposizione e delle condizioni ambientali del singolo elemento:

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tab. 49 – Condizioni ambientali

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	$w_k$	Poco sensibile Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Tab. 50 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare inferiore al valore nominale di riferimento  $w_1$  per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili:

$$w_1 = 0.20 \text{ mm}$$

In particolare si effettuano le seguenti verifiche:

VERIFICA A FESSURAZIONE	VALORI LIMITE DELLE APERTURE		
	CLASSE ESPOSIZIONE	CONDIZIONI AMBIENTALI	RARA
SOLETTA INFERIORE	XA1	AGGRESSIVE	$w_1$
SOLETTA SUPERIORE	XA1	AGGRESSIVE	$w_1$
PIEDRITTI	XA1	AGGRESSIVE	$w_1$

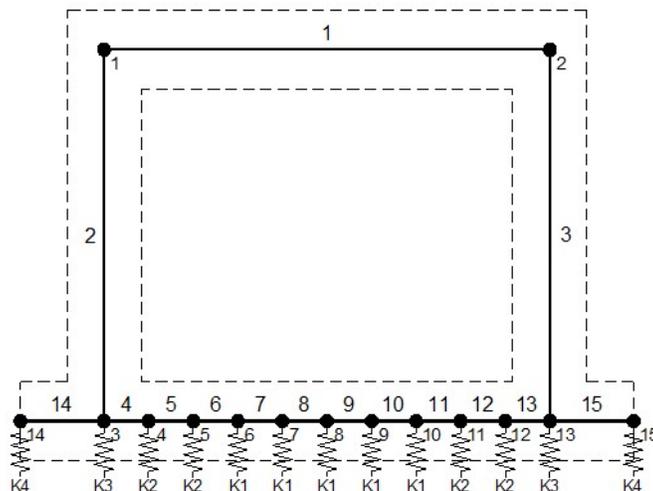
## 9. ANALISI E VERIFICHE

### 9.1 Modello di calcolo

Il modello di calcolo adottato è quello di un telaio con elementi frame a cui sono state assegnate le sezioni in base alla geometria e alle caratteristiche dei materiali.

Si è analizzata una lunghezza unitaria di 1 m dello scatolare a cui sono stati assegnati le sezioni ed i carichi corrispondenti.

Di seguito si riportano i dati geometrici, le caratteristiche dei materiali e del terreno e le rigidzze delle molle applicate in corrispondenza dei nodi in cui è stato diviso l'elemento frame corrispondente alla fondazione.



Tab. 51 – Schematizzazione del modello scatolare

Per simulare il comportamento del terreno di fondazione sono state inserite molle alla Winkler.

La soletta inferiore viene divisa in elementi per poter schematizzare, tramite molle applicate, l'interazione terreno- struttura. In particolare nella modellazione su ciascun frame in cui è stata discretizzata la soletta di fondazione sono state inserite molle verticali  $k_w$  in corrispondenza dei nodi.

Le molle verticali sono state inserite assegnando alle stesse valori di rigidezza variabili, con valori crescenti dalla mezzeria della fondazione verso i piedritti. Per la rigidezza delle molle, nell' opera in esame si considera un modulo di reazione verticale  $k_w$  pari a  $2949.8 \text{ kN/m}^3$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

Il coefficiente di sottofondo alla Winkler è stato determinato con la seguente relazione (Bowles, 1960):

$$k_w = \frac{E}{(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t}$$

con:

E: modulo elastico del terreno (variabile con la profondità)

v: coefficiente di Poisson

B: larghezza della fondazione

c<sub>t</sub>: fattore di forma

Fattore di forma per la stima del coefficiente di Winkler		
Fondazione Rigida	ct	ct
Rettangolare con L/B < 10	$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$	$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$
Rettangolare con L/B > 10	$c_t = 2 + 0.0089 (L/B)$	$c_t = 2 + 0.0089 (L/B)$

L = lunghezza della fondazione

Per lo scatolare in esame si ha:

COSTANTE DI WINKLER SCATOLARE		
L =	13.00 m	
B =	1.74 m	
E =	9000 kN/m <sup>2</sup>	modulo elastico del terreno
v =	0.3	coefficiente di Poisson
c <sub>t</sub> =	1.927	fattore di forma
k <sub>w</sub> =	$E/(1-\nu^2) \times B \times c_t =$	2949.8 kN/m <sup>3</sup>

### 9.1.1 Modello di calcolo e dati di input

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	67 di 161

**Geometria**

Spessore soletta superiore	Ss	0.30	m
Spessore soletta di fondazione	Sf	0.30	m
Spessore piedritti	Sp	0.40	m
Altezza netta	Hint	0.94	m
Larghezza netta	Lint	0.94	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr	0.00	m

**Rigidzze molle verticali**

Interasse molle	i	$(0.40/2 + 0.94 + 0.40/2) / 10 =$	0.13	m
Molle centrali	K1	$2949.8 \cdot 0.13 =$	395	kN/m
Molle intermedie	K2	$1.5 \cdot 2949.8 \cdot 0.13 =$	593	kN/m
Molle laterali	K3	$2.0 \cdot 2949.8 \cdot (0.13/2 + 0.40/2) =$	1,575	kN/m
Molle risvolto	K4	-	0	kN/m

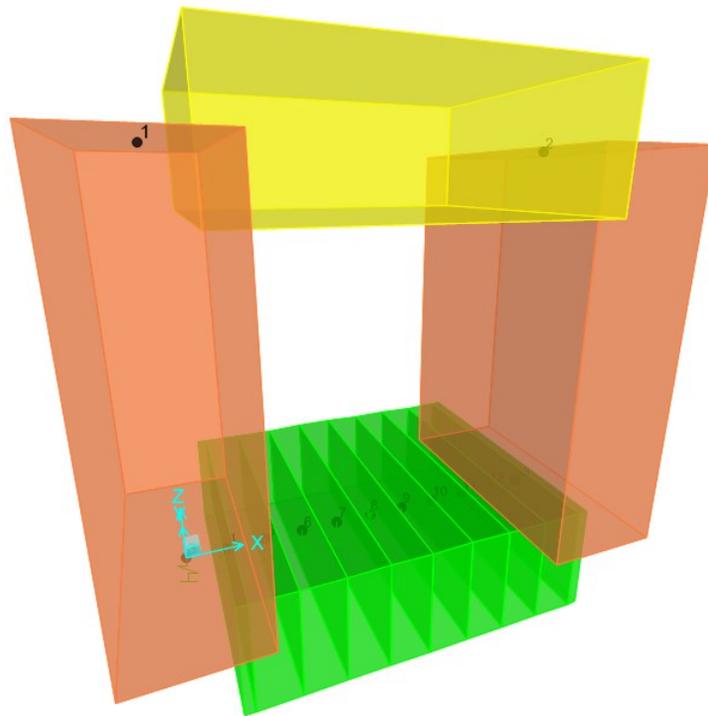
**Caratteristiche materiali e terreno**

Calcestruzzo armato - Peso specifico	$\gamma$		25	kN/m <sup>3</sup>
Calcestruzzo armato - Tipo			C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	$R_{ck}$		37	N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	$f_{ck}$	$0.83 \cdot 37 =$	30.7	N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33000	N/mm <sup>2</sup>
Ballast - Peso specifico	$\gamma_b$		18	kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato -Peso specifico	$\gamma$		20	kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	$\varphi$		34.5	°
Terreno di riempimento laterale - Peso specifico	$\gamma$		20.0	kN/m <sup>3</sup>
Terreno di riempimento laterale - Angolo di attrito	$\varphi$		34.5	°
Terreno di fondazione	Kw		2949.8	kN/m <sup>3</sup>
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive	

**Ricoprimento**

Spessore ballast+armamento	Hb	0.80	m
Spessore medio traversina+binario	Ht	0.40	m
Spessore ballast sotto la traversina		0.40	m
Spessore del rinterro	Hr	0.00	m

Di seguito si riportano le immagini del modello SAP dello scatolare in esame con le indicazioni delle sezioni di verifica:

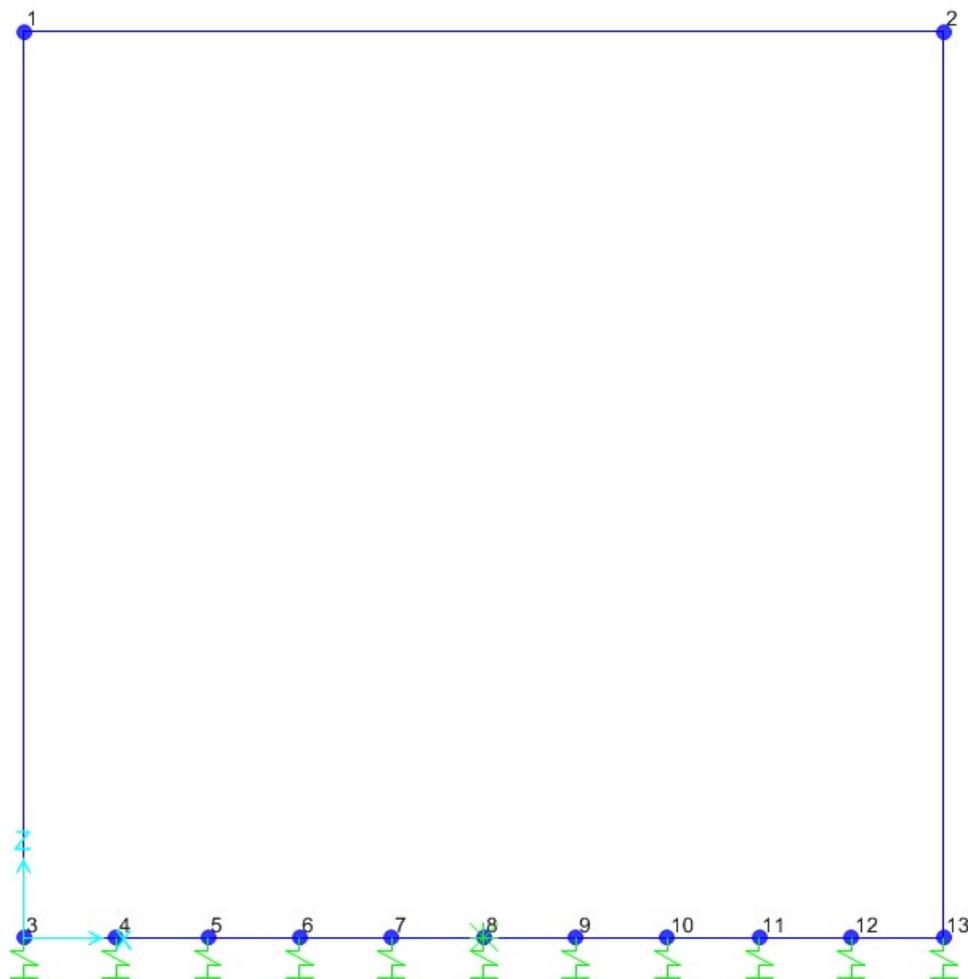


*Tab. 52 – Modello scatolare - vista estrusa*

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	69 di 161

X-Z Plane @ Y=0

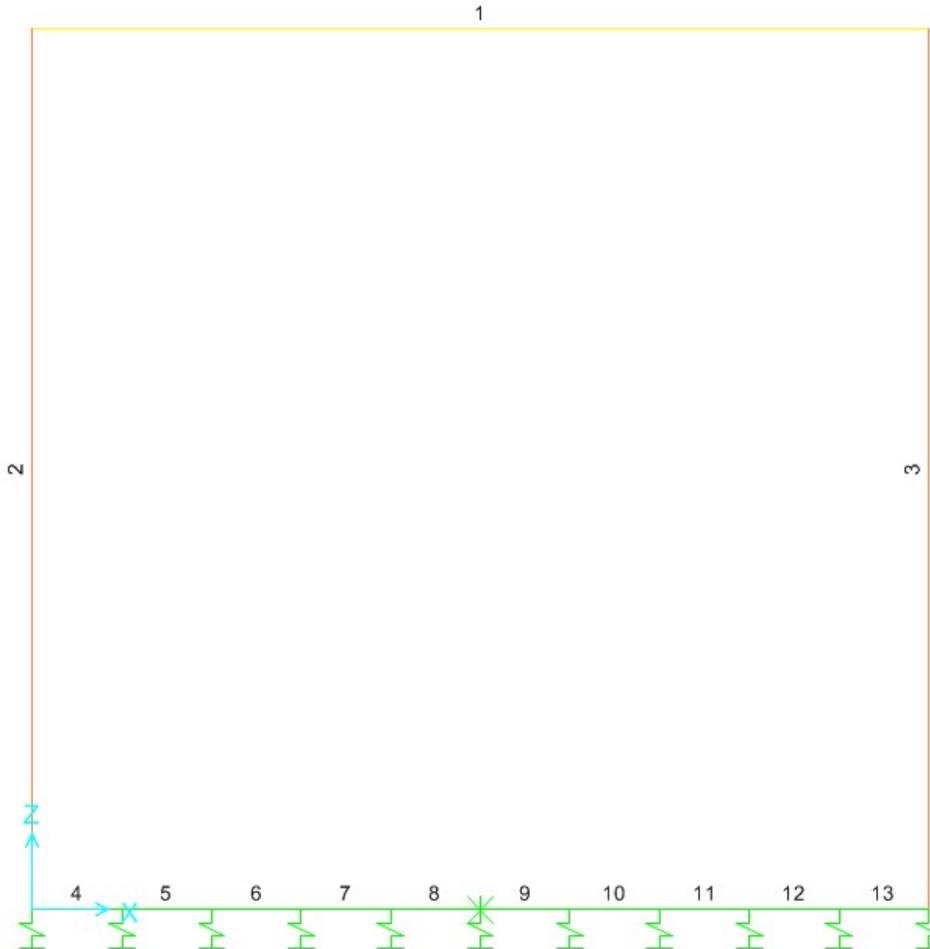


Tab. 53 – Modello scatolare - numerazione nodi e vincoli assegnati

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	70 di 161

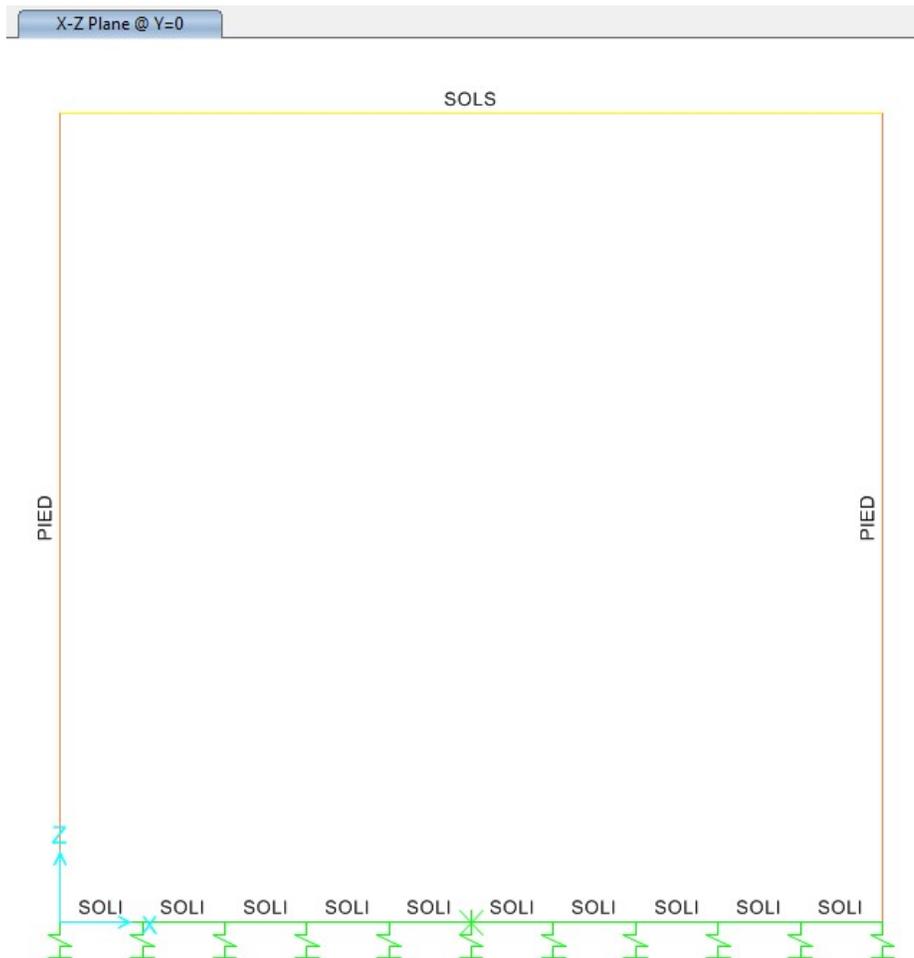
X-Z Plane @ Y=0



Tab. 54 – Modello scatolare - numerazione frames

**RELAZIONE DI CALCOLO**

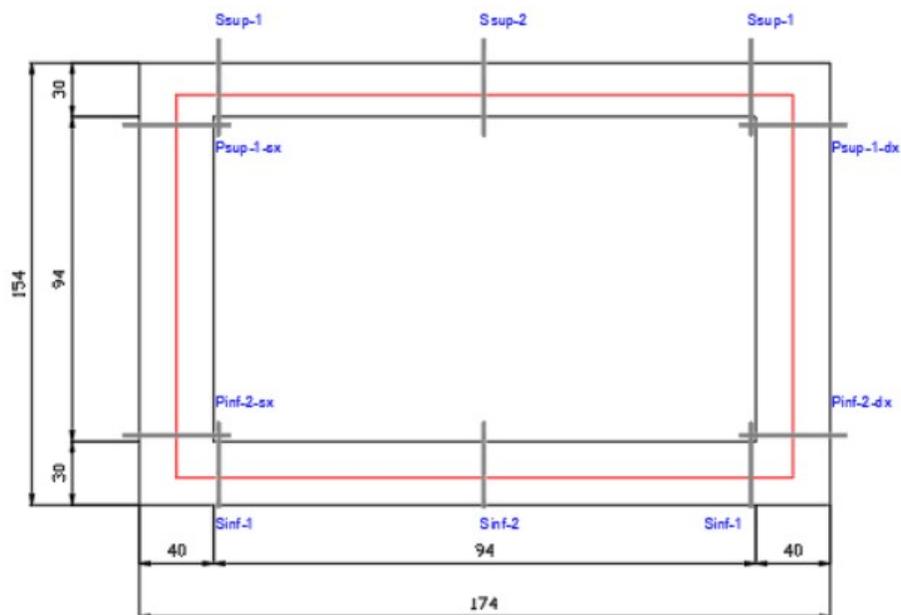
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	71 di 161



Tab. 55 – Modello scatolare - sezioni assegnate

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	72 di 161



Tab. 56 – Modello Tombino scatolare - sezioni di verifica

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	73 di 161

**Carichi permanenti (Condizione *PERM*)**

Soletta superiore		
Peso ballast	$P_s \quad 0.80 \cdot 18 =$	14.40 kNm <sup>2</sup>
Peso del rinterro	$P_r \quad 0.00 \cdot 20 =$	0.00 kNm <sup>2</sup>
Totale	$(P_r + P_s) \cdot r$	<b>18.70 kNm<sup>2</sup></b>
Risolvi soletta inferiore		
Peso ballast	$P_s \quad -$	0.00 kNm <sup>2</sup>
Peso del rinterro	$P_r \quad -$	0.00 kNm <sup>2</sup>
Totale		<b>0.00 kNm<sup>2</sup></b>

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

Coefficiente dinamico		
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	$L_0 = 1.3 \cdot \sqrt[3]{(1.09 + 1.34 + 1.09)}$	1.53 m
Coefficiente dinamico	$\Phi_3 = 1.35$ se $L_{int} \leq 8$ m e $H_{int} \leq 5$ m	1.35
Q <sub>vk</sub>		
Coefficiente di adattamento	$\alpha$	1.10
Larghezza traversa	$L_t$	2.40 m
Impronta di carico y	$L_{d1} \quad 2.40 + 2 \times (0.40/4 + 0.00 \times \tan(35^\circ) + 0.30/2) =$	2.90 m
Impronta di carico x	$L_{d2} \quad 0.8 + 1.6 + 1.6 + 1.6 + 0.8 =$	6.40 m
Carico Q <sub>vk</sub> (totale)		1000 kN
Carico Q <sub>vk</sub> (ripartito)	$1.1 \cdot 1.35 \cdot 1000 / (2.90 \cdot 6.40) =$	<b>80.01 kNm<sup>2</sup></b>
q <sub>vk</sub>		
Carico q <sub>vk</sub>		80 kNm
Carico q <sub>vk</sub> (ripartito)	$1.1 \cdot 1.35 \cdot 80 / 2.90 =$	<b>40.97 kNm<sup>2</sup></b>

**Carichi accidentali sulla copertura SW12 (Condizioni *ACC-MSW* e *ACC-TSW*)**

Coefficiente di adattamento		
Carico q <sub>vk</sub>	$\alpha$	1.00
Carico q <sub>vk</sub> (ripartito)	$1 \cdot 1.35 \cdot 150 / 2.90 =$	<b>69.83 kNm<sup>2</sup></b>

**Avviamento e frenatura (Condizione *AVV*)**

Q <sub>1ak</sub> (= $\alpha \cdot 33 / L_{d1}$ )	$\alpha \cdot 33 / 2.90 =$	<b>12.52 kNm<sup>2</sup></b>
--	----------------------------	------------------------------

**Azione termica (Condizione *TERM*)**

Variazione termica uniforme	$\Delta T_U$	15 °
Variazione termica a farfalla	$\Delta T_F$	5 °
Variazione termica uniforme di calcolo	$\Delta T_{Uc} \quad 15 / 2 =$	7.50 °
Variazione termica a farfalla di calcolo	$\Delta T_{Fc} \quad 5 / 2 =$	2.50 °

**Ritiro (Condizione *RITIRO*)**

Ritiro applicato alla sol. Superiore	$\Delta T_R$	-10 °
--------------------------------------	--------------	-------

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	74 di 161

**Spinta del terreno (Condizioni *SPTSX* e *SPTDX*)**

K01	1- sen (34.5°) =	0.434
K02	1- sen (34.5°) =	0.434
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1 0.434 · 16.00 =	6.94 kNm <sup>2</sup>
Spinta in asse sol. sup.	p2 0.434 · (16.00 + 20·0.30/2) =	<b>8.24 kNm<sup>2</sup></b>
Spinta in asse sol. inf.	p3 0.434 · [16.00 + 20·(0.30+0.94+0.30/2)] =	<b>18.99 kNm<sup>2</sup></b>
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4 0.434 · [16.00 + 20·(0.30+0.94+0.30)] =	20.29 kNm <sup>2</sup>
Spinta semispessore sol. sup.	F1 (6.94+8.24)/2 · 0.30/2	<b>1.14 kNm</b>
Spinta semispessore sol. inf.	F2 (18.99+20.29)/2 · 0.30/2	<b>2.95 kNm</b>

**Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni *SPACCSX* e *SPACCDX*)**

Spinta dovuta al q1	p 0.434 · 1.1 · 1000 / (2.90 · 6.40) =	<b>25.70 kNm<sup>2</sup></b>
---------------------	--	------------------------------

**Spinta del carico accidentale SW12 (Condizioni *SPACCSX* e *SPACCDX*)**

Spinta dovuta al q1	p 0.434 · 1 · 150 / (2.90 · 6.40) =	<b>3.50 kNm<sup>2</sup></b>
---------------------	-------------------------------------	-----------------------------

**Sisma orizzontale (Condizione *SISMAH*)**

Stato limite	Salvaguardia della vita - SLU -	SLV
Vita nominale	V <sub>N</sub>	75 anni
Classe d'uso		II
Coefficiente C <sub>u</sub>	C <sub>u</sub>	1
Periodo di riferimento	V <sub>R</sub>	75 anni
Accelerazione orizzontale	a <sub>h</sub> /g	<b>0.041</b>
Amplificazione spettrale	F <sub>o</sub>	<b>2.634</b>
Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E	<b>B</b>
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S <sub>s</sub>	1.200
Coeff. Amplificazione topografica	S <sub>t</sub>	1
Coefficiente S	S = S <sub>s</sub> · S <sub>t</sub>	1.200
accelerazione orizzontale max	a <sub>max</sub> /g = a <sub>h</sub> /g · S	0.049
Fattore di struttura	q	<b>1.00</b>
Coeff. sismico orizzontale	k <sub>h</sub> = a <sub>max</sub> /g	0.049
Coeff. sismico verticale	k <sub>v</sub> = ±0.5 k <sub>h</sub>	0.025

Carico accidentale totale gravante sulla cop.	1.1·1000(2.90·6.40)·1.74 + 1.180(2.90·1.74) =	155.9 kNm
---	---	-----------

Forza orizz. sulla sol. di cop.	FHs 0.049 · (0.30·25 + 18.70 + 0.2·155.9(1.34)) / 1.00 =	<b>2.43 kNm<sup>2</sup></b>
Forza orizz. sui piedritti	FHp 0.049 · (0.40 · 25) / 1.00 =	<b>0.49 kNm<sup>2</sup></b>

**Sisma verticale (Condizione *SISMAV*)**

Forza vert. sulla sol. di cop.	FVs 0.025 · (0.30·25 + 18.70 + 0.2·155.9(1.34)) / 1.00 =	<b>1.22 kNm<sup>2</sup></b>
--------------------------------	--	-----------------------------

**Spinta del terreno in fase sismica (Condizione *SPSDX*)**

Risultante della spinta sismica	ΔS <sub>E</sub> = (amax/g) · γ · (Hint+Ss+Sf+Hb+Hr) <sup>2</sup> = 0.049 · 20 · 2.3	5.4 kNm
Pressione risultante	Δp <sub>E</sub> = ΔSE / H = 5.4 / 1.24	<b>4.35 kNm<sup>2</sup></b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NMOY 00 D 11 CL RI0003 001 A 75 di 161

Combinazioni:

N		PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPQSX71	SPQDX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPQXSXW	SPQDXSW	
01	CARICHI MOBILI - GRUPPO 1	01S1-11M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
02		02S1-11F	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
03		03S1-12M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
04		04S1-12T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
05		05S1-13M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
06		06S1-13T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
07		07S1-14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
08		08S1-15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
09		09S1-16S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	1.45	0	0
10		10S1-17S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45	1.45
11		11S1-18S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	1.45	0	1.45
12		12S1-19S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	0	1.45	1.45
13		13S1-20S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	0	0	1.45
14		14S1-21M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
15		15S1-21T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
16		16S1-22M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
17		17S1-22T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
18		18S1-23M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
19		19S1-23T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
20		20S1-24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
21		21S1-25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
22		22S1-26S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	0
23		23S1-27S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	1.45	1.45
24		24S1-28S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	1.45
25		25S1-29S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	1.45	1.45
26		26S1-30S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	1.45
27	CARICHI MOBILI - GRUPPO 1	27S1T11M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
28		28S1T11T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
29		29S1T12M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
30		30S1T12T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
31		31S1T13M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
32		32S1T13T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
33		33S1T14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
34		34S1T15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
35		35S1T16S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	0
36		36S1T17S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	1.16	1.16	1.16
37		37S1T18S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	1.16
38		38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	1.16	1.16
39		39S1T20S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0	1.16
40		40S1T21M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
41		41S1T21T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
42		42S1T22M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
43		43S1T22T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
44		44S1T23M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
45		45S1T23T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
46		46S1T24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
47		47S1T25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
48		48S1T26S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	0
49		49S1T27S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	1.16	1.16	1.16
50		50S1T28S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	1.16
51		51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0	1.16	1.16
52		52S1T30S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0	0	1.16

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NMOY 00 D 11 CL RI0003 001 A 76 di 161

53	CARICHI MOBILI - GRUPPO 3	SILU (AZIONE PRINCIPALE: CARICHI MOBILI)	5383-11M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
54			5483-11T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
55			5583-12M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
56			5683-12T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
57			5783-13M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
58			5883-13T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
59			5983-14S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	0
60			6083-15S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	0.9	1.2	0	0	0	1.45	1.45	1.45
61			6183-16S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	1.45
62			6283-21M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
63	6383-21T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0		
64	6483-22M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0		
65	6583-22T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0		
66	6683-23M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0		
67	6783-23T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0		
68	6883-24S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	0		
69	6983-25S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	1.16	1.16		
70	7083-26S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	1.16		
71	SISMICA	SLU (SISMICA)	718SS1--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	1	1	0.3	1	0	0	
72			728SS2--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	1	1	-0.3	1	0	0	
73			738SS3--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	
74			748SS4--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	
75			758SS5--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	1	0	0	
76			768SS6--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	1	0	0	
77			778SS7--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	
78			788SS8--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	
79			798SS9S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
80			808SS10S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
81			818SS11S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
82			828SS12S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
83			838SS13S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
84			848SS14S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
85			858SS15S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
86			868SS16S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2

87	CARICHI MOBILI - GRUPPO 4	SILE RARA (AZIONE PRINCIPALE: CARICHI MOBILI)	87R4-11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0			
88			88R4-11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0		
89			89R4-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0		
90			90R4-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0		
91			91R4-13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0		
92			92R4-13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0		
93			93R4-14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	1	0	0	0	0.8	0	0		
94			94R4-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8		
95			95R4-16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8		
96			96R4-21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0		
97			97R4-21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0		
98			98R4-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0		
99			99R4-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0		
100			100R4-23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0		
101			101R4-23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0		
102			102R4-24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0		
103			103R4-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8		
104			104R4-26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8		
105			CARICHI MOBILI - GRUPPO 4	SILE RARA (AZIONE PRINCIPALE: AZIONE TERMICA)	105R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
106					106R1T11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
107					107R1T12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
108					108R1T12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
109	109R1T13M	1			1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0		
110	110R1T13T	1			1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0		
111	111R1T14S	1			1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0		
112	112R1T15S	1			1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8		
113	113R1T16S	1			1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8		
114	114R1T21M	1			1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
115	115R1T21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0				
116	116R1T22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0				
117	117R1T22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0				
118	118R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0				
119	119R1T23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0				
120	120R1T24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0				
121	121R1T25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8				
122	122R1T26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8				



## 9.2 Risultati delle analisi

Si riportano i risultati delle analisi svolte sia in forma grafica che tabellare, dove le sollecitazioni massime mostrate sia in termini di sforzo normale che taglio e momento flettente corrispondono ai valori in corrispondenza dei nodi tra gli elementi del modello di calcolo, ovvero i punti di intersezione tra gli assi geometrici degli elementi. Nelle verifiche le sollecitazioni in corrispondenza dei nodi si considerano secondo il seguente criterio:

sforzo normale: valori in corrispondenza dei punti posti ad  $s/4$  del punto di intersezione tra gli assi geometrici degli elementi (nodi);

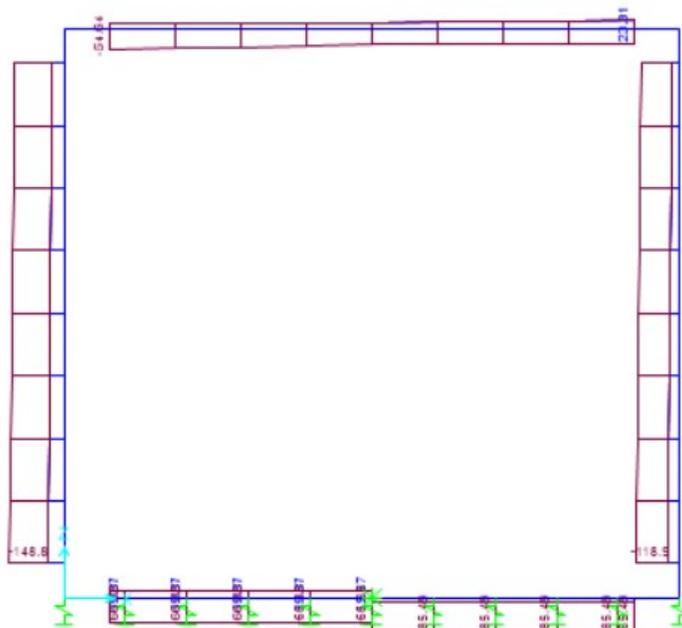
taglio: valori in corrispondenza del filo interno degli elementi;

momento flettente: valori in corrispondenza dei punti posti ad  $s/4$  dei punti di intersezione tra gli assi geometrici degli elementi (nodi);

dove  $s$  è lo spessore dell'elemento strutturale considerato.

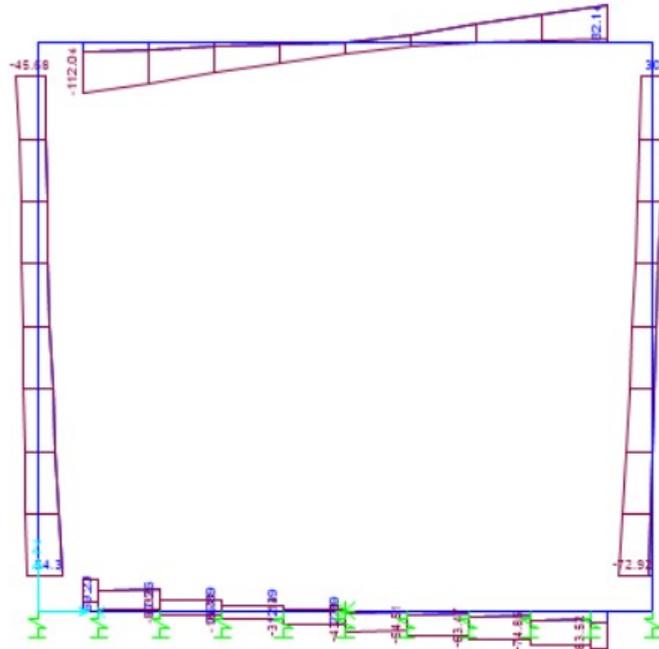
Nelle immagini che seguono si riportano gli involuipi dei diagrammi delle sollecitazioni ottenuti dall'analisi dei risultati:

Axial Force Diagram (INVLSU - Max/Min)

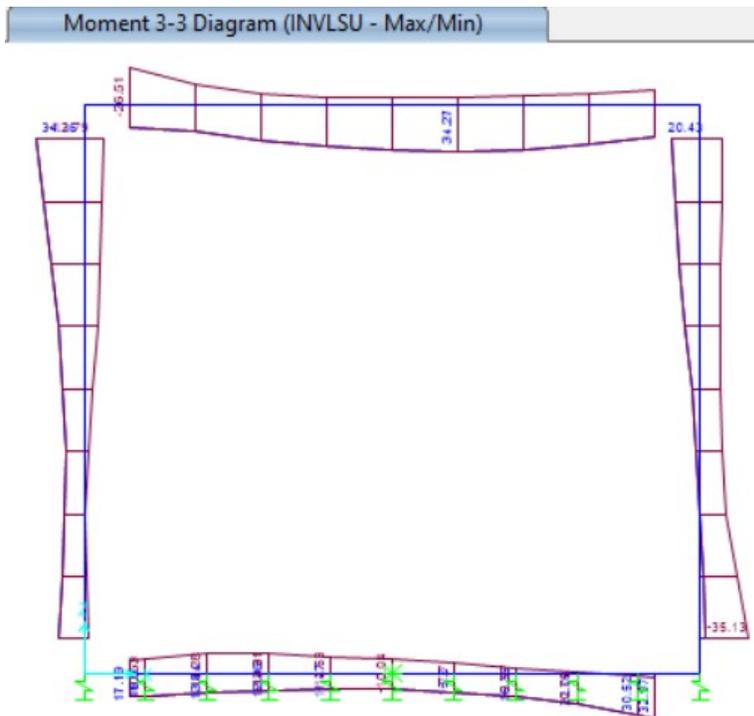


Tab. 57 – Modello scatolare – Inviluppo SLU sforzo normale

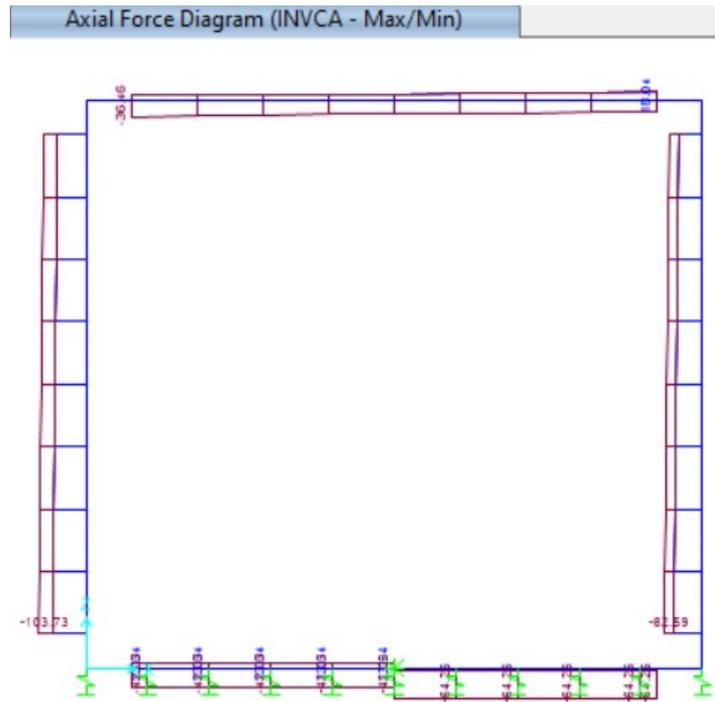
Shear Force 2-2 Diagram (INVLSU - Max/Min)



Tab. 58 – Modello scatolare - Involuppo SLU sforzo di taglio



Tab. 59 – Modello scatolare - Inviluppo SLU momento flettente



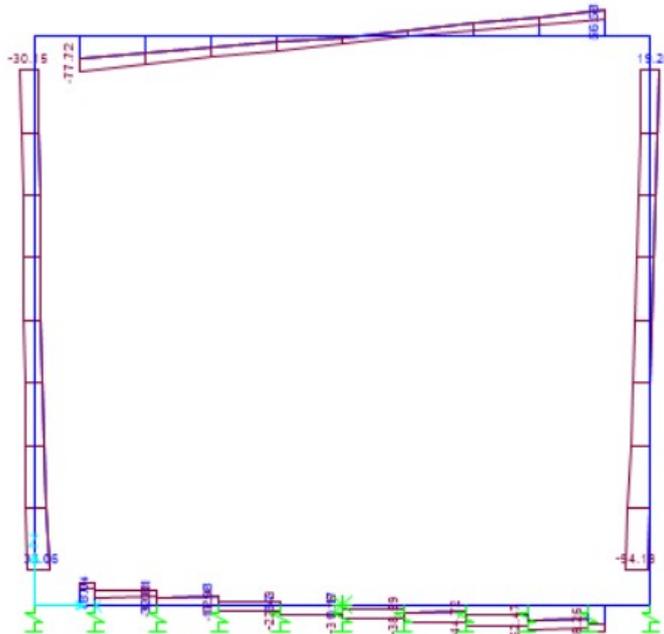
Tab. 60 – Modello scatolare – Involuppo SLE RARA sforzo normale



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	84 di 161

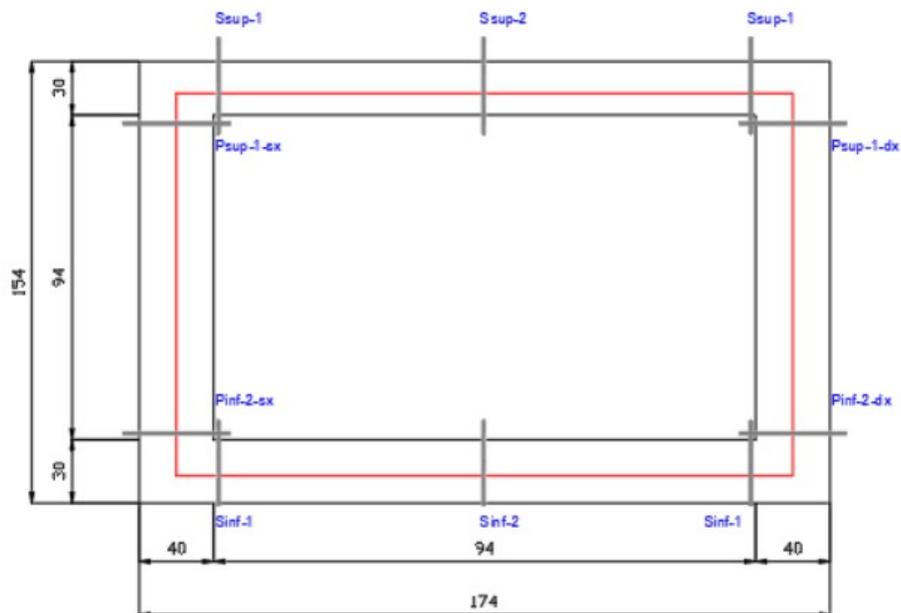
Shear Force 2-2 Diagram (INVCA - Max/Min)



Tab. 62 – Modello scatolare – Involuppo SLE RARA sforzo di taglio

### 9.3 Verifiche strutturali

Le verifiche riportate nei paragrafi successivi sono effettuate considerando il valore assoluto delle sollecitazioni. Per le sezioni di estremità dei piedritti e delle solette si riportano le verifiche delle sezioni più sollecitate; in particolare per le solette inferiore e superiore si riportano le verifiche in assenza di sforzo normale. Nell'immagine che segue si mostra la sezione trasversale del tombino con le sezioni oggetto di verifica:



Tab. 63 – Tombino scatolare - sezioni di verifica

Per ciascuna tipologia di elemento (solette e piedritti) si riporta uno schema grafico con l'indicazione della sezione oggetto di verifica.

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	86 di 161

**9.3.1 Piedritti**

Armatura a flessione:

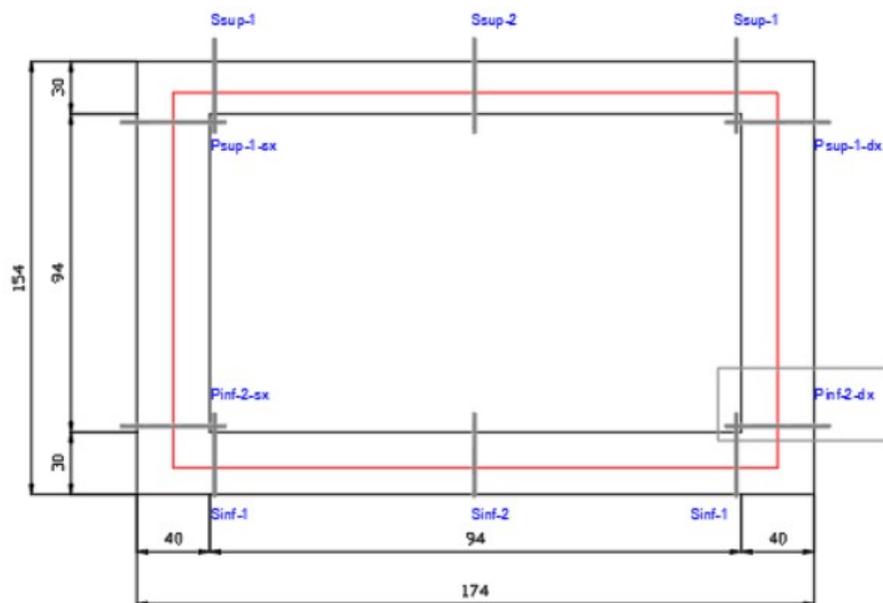
- Sommità Psup-1: Armatura tesa  $\phi 14/20$  cm  
Armatura compressa  $\phi 14/20$  cm
- Spiccato Pinf-2: Armatura tesa  $\phi 14/20$  cm  
Armatura compressa  $\phi 14/20$  cm

Armatura a taglio: Spille  $\phi 10/40 \times 40$  cm

Armatura longitudinale:  $\phi 14/20$  cm

• Verifica a pressoflessione

Spiccato Pinf-2



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	87 di 161

**Acciaio**

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

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

**Geometria della sezione**

Altezza geometrica della sezione	$h$	=	40	cm
Base della sezione	$b$	=	100	cm
Copriferro netto	$c$	=	40	mm
Armatura a taglio	$\phi$	=	10	mm
Armatura di ripartizione	$\phi$	=	14	mm
Copriferro	$c'$	=	7.1	cm
Altezza utile della sezione	$d$	=	32.9	cm

**Armatura tesa**

N° ferri	Diametro	Area
5	14	7.70 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>7.70 cm<sup>2</sup></b>

**Armatura compressa**

N° ferri	Diametro	Area
5	14	7.70 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>7.70 cm<sup>2</sup></b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	88 di 161

**Caratteristiche di sollecitazione**

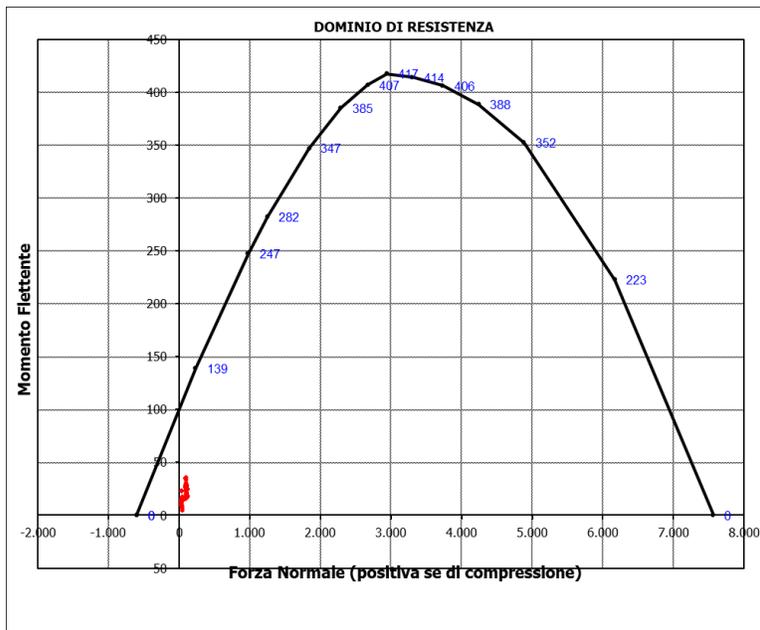
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	118.90	17.91
02S1-11T	118.90	17.91
03S1-12M	118.90	17.67
04S1-12T	118.90	17.67
05S1-13M	106.23	26.81
06S1-13T	106.23	26.81
07S1-14-	46.91	6.54
08S1-15-	34.24	15.68
09S1-16S	109.01	16.91
10S1-17S	109.01	16.83
11S1-18S	106.29	18.83
12S1-19S	46.91	6.71
13S1-20S	44.20	8.71
14S1-21M	118.90	24.61
15S1-21T	118.90	24.61
16S1-22M	118.90	24.37
17S1-22T	118.90	24.37
18S1-23M	106.23	33.50
19S1-23T	106.23	33.50
20S1-24-	46.91	13.24
21S1-25-	34.24	22.37
22S1-26S	109.01	23.60
23S1-27S	109.01	23.53
24S1-28S	106.29	25.53
25S1-29S	46.91	13.40
26S1-30S	44.20	15.40
27S1T11M	99.91	16.05
28S1T11T	99.91	16.05
29S1T12M	99.91	15.84
30S1T12T	99.91	15.84
31S1T13M	89.54	23.33
32S1T13T	89.54	23.33
33S1T14-	46.91	4.35
34S1T15-	36.55	11.83
35S1T16S	92.00	15.24
36S1T17S	92.00	15.17
37S1T18S	89.60	16.94
38S1T19S	46.91	4.48
39S1T20S	44.51	6.25
40S1T21M	99.91	27.21
41S1T21T	99.91	27.21
42S1T22M	99.91	27.00
43S1T22T	99.91	27.00

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd
44S1T23M	89.54	34.49
45S1T23T	89.54	34.49
46S1T24-	46.91	15.51
47S1T25-	36.55	22.99
48S1T26S	92.00	26.40
49S1T27S	92.00	26.33
50S1T28S	89.60	28.10
51S1T29S	46.91	15.64
52S1T30S	44.51	17.41
53S3-11M	113.16	21.15
54S3-11T	113.16	21.15
55S3-12M	113.16	20.91
56S3-12T	113.16	20.91
57S3-13M	100.49	30.05
58S3-13T	100.49	30.05
59S3-14S	103.27	20.15
60S3-15S	103.27	20.07
61S3-16S	100.55	22.07
62S3-21M	113.16	27.85
63S3-21T	113.16	27.85
64S3-22M	113.16	27.64
65S3-22T	113.16	27.64
66S3-23M	102.79	35.13
67S3-23T	102.79	35.13
68S3-24S	103.27	26.84
69S3-25S	103.27	26.77
70S3-26S	100.87	28.54
71SSS1-	38.20	10.99
72SSS2-	37.71	10.94
73SSS3-	40.74	9.78
74SSS4-	39.11	9.62
75SSS5-	38.20	14.71
76SSS6-	37.71	14.66
77SSS7-	40.74	13.50
78SSS8-	39.11	13.34
79SSS9S	38.21	9.89
80SSS10S	37.72	9.84
81SSS11S	40.75	8.68
82SSS12S	39.12	8.52
83SSS13S	38.21	13.61
84SSS14S	37.72	13.56
85SSS15S	40.75	12.40
86SSS16S	39.12	12.24

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	89 di 161



**Caratteristiche di sollecitazione**

	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	01S1-11M	118.90	17.91
(Nmin)	08S1-15-	34.24	15.68
(Mmax)	66S3-23M	102.79	35.13
(Mmin)	33S1T14-	46.91	4.35

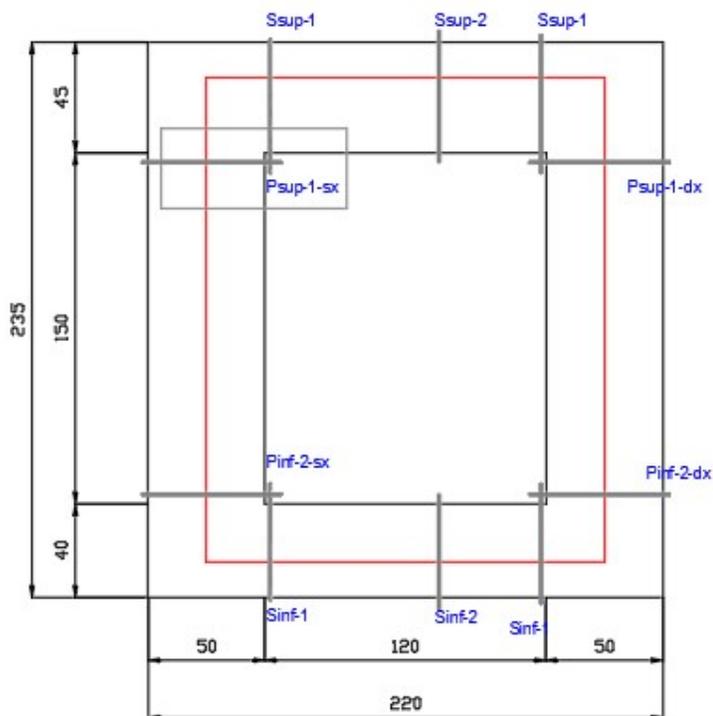
**DOMINIO DI RESISTENZA**

PUNTO	NRd [kN]	MRd [kNm]
1	-602	0
2	-602	0
3	231	139
4	976	247
5	1250	282
6	1841	347
7	2290	385
8	2672	407
9	2938	417
10	3303	414
11	3730	406
12	4245	388
13	4881	352
14	6171	223
15	7563	0

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Y	00 D 11	CL	RI0003 001	A	90 di 161

Sommità Psup-1



Acciaio

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

Calcestruzzo

Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

Geometria della sezione

Altezza geometrica della sezione	$h$	=	40	cm
Base della sezione	$b$	=	100	cm
Copriferro netto	$c$	=	40	mm
Armatura a taglio	$\phi$	=	10	mm
Armatura di ripartizione	$\phi$	=	14	mm
Copriferro	$c'$	=	7.1	cm
Altezza utile della sezione	$d$	=	32.9	cm

Armatura tesa

N° ferri	Diametro	Area	
5	14	7.70	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>7.70</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa

N° ferri	Diametro	Area	
5	14	7.70	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>7.70</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	91 di 161

**Caratteristiche di sollecitazione**

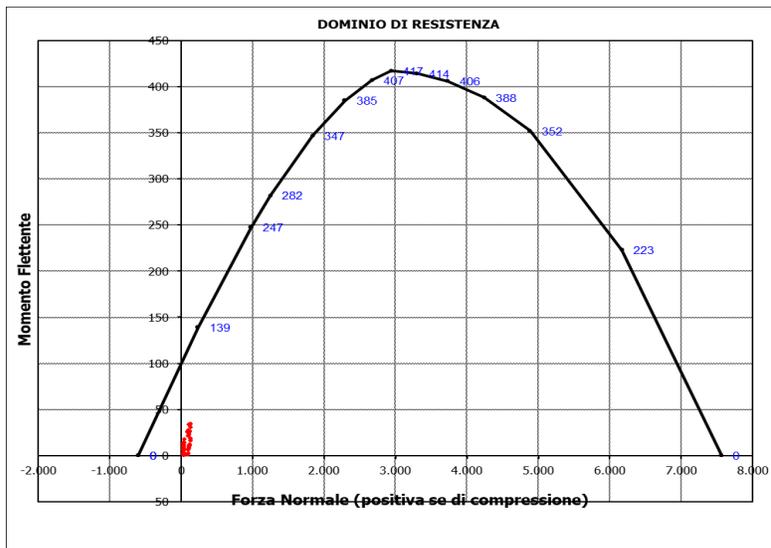
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	115.67	22.75
02S1-11T	115.67	22.75
03S1-12M	115.67	22.56
04S1-12T	115.67	22.56
05S1-13M	128.34	30.86
06S1-13T	128.34	30.86
07S1-14-	32.20	5.73
08S1-15-	44.87	14.03
09S1-16S	105.78	21.04
10S1-17S	105.78	21.02
11S1-18S	108.50	22.79
12S1-19S	32.20	5.90
13S1-20S	34.91	7.67
14S1-21M	115.67	8.08
15S1-21T	115.67	8.08
16S1-22M	115.67	7.89
17S1-22T	115.67	7.89
18S1-23M	128.34	16.20
19S1-23T	128.34	16.20
20S1-24-	32.20	8.94
21S1-25-	44.87	0.63
22S1-26S	105.78	6.37
23S1-27S	105.78	6.35
24S1-28S	108.50	8.13
25S1-29S	32.20	8.77
26S1-30S	34.91	6.99
27S1T11M	103.57	26.99
28S1T11T	103.57	26.99
29S1T12M	103.57	26.83
30S1T12T	103.57	26.83
31S1T13M	113.94	33.63
32S1T13T	113.94	33.63
33S1T14-	32.20	10.66
34S1T15-	42.56	17.45
35S1T16S	95.66	25.62
36S1T17S	95.66	25.60
37S1T18S	98.06	27.17
38S1T19S	32.20	10.79
39S1T20S	34.60	12.36
40S1T21M	103.57	2.54
41S1T21T	103.57	2.54
42S1T22M	103.57	2.39
43S1T22T	103.57	2.39

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd
44S1T23M	113.94	9.18
45S1T23T	113.94	9.18
46S1T24-	32.20	13.79
47S1T25-	42.56	7.00
48S1T26S	95.66	1.17
49S1T27S	95.66	1.15
50S1T28S	98.06	2.72
51S1T29S	32.20	13.66
52S1T30S	34.60	12.09
53S3-11M	121.41	26.14
54S3-11T	121.41	26.14
55S3-12M	121.41	25.95
56S3-12T	121.41	25.95
57S3-13M	134.08	34.26
58S3-13T	134.08	34.26
59S3-14S	111.52	24.43
60S3-15S	111.52	24.41
61S3-16S	114.24	26.19
62S3-21M	121.41	11.47
63S3-21T	121.41	11.47
64S3-22M	121.41	11.32
65S3-22T	121.41	11.32
66S3-23M	131.78	18.11
67S3-23T	131.78	18.11
68S3-24S	111.52	9.76
69S3-25S	111.52	9.74
70S3-26S	113.92	11.32
71SSS1--	38.71	7.76
72SSS2--	38.22	7.67
73SSS3--	37.32	6.64
74SSS4--	35.69	6.36
75SSS5--	38.71	0.39
76SSS6--	38.22	0.48
77SSS7--	37.32	1.51
78SSS8--	35.69	1.79
79SSS9S	35.98	6.64
80SSS10S	35.49	6.56
81SSS11S	34.58	5.52
82SSS12S	32.95	5.24
83SSS13S	35.98	1.50
84SSS14S	35.49	1.59
85SSS15S	34.58	2.62
86SSS16S	32.95	2.91

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	92 di 161



**Caratteristiche di sollecitazione**

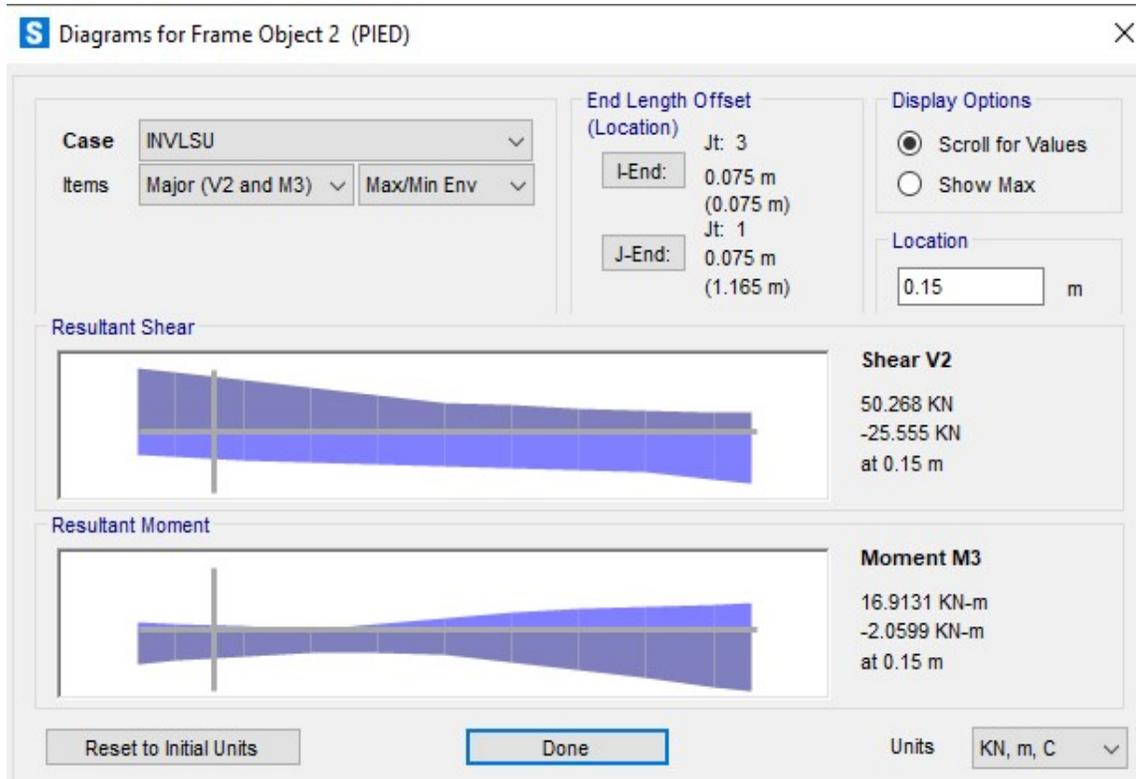
	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	57S3-13M	134.08	34.26
(Nmin)	07S1-14-	32.20	5.73
(Mmax)	57S3-13M	134.08	34.26
(Mmin)	75SS55--	38.71	0.39

**DOMINIO DI RESISTENZA**

PUNT	NRd [kN]	MRd [kNm]
1	-602	0
2	-602	0
3	231	139
4	976	247
5	1250	282
6	1841	347
7	2290	385
8	2672	407
9	2938	417
10	3303	414
11	3730	406
12	4245	388
13	4881	352
14	6171	223
15	7563	0

- **Verifica a taglio**

Si riportano i valori delle sollecitazioni taglianti in corrispondenza del filo interno degli elementi in esame:



RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	94 di 161

**S** Diagrams for Frame Object 3 (PIED)



**Case** INVLSU

**Items** Major (V2 and M3) Max/Min Env

**End Length Offset (Location)**

Jt: 13  
I-End: 0.075 m (0.075 m)

Jt: 2  
J-End: 0.075 m (1.165 m)

**Display Options**

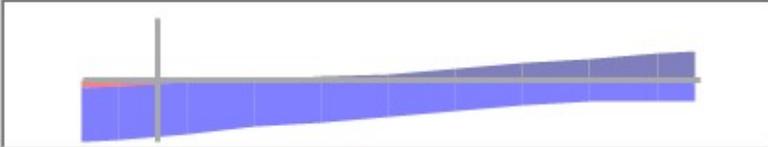
Scroll for Values

Show Max

**Location**

0.15 m

**Resultant Shear**



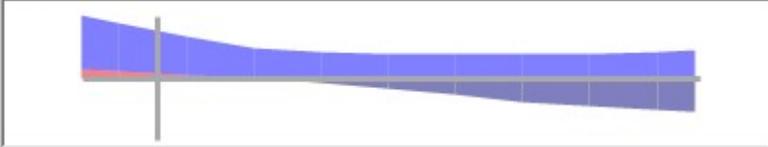
**Shear V2**

-5.497 KN

-68.886 KN

at 0.15 m

**Resultant Moment**



**Moment M3**

-3.0006 KN-m

-30.3181 KN-m

at 0.15 m

Reset to Initial Units

Done

Units KN, m, C

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	95 di 161

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37
R <sub>ck</sub>	37 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>ck</sub>	30.7 N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>c</sub>	1.5
α <sub>cc</sub>	0.85
f <sub>cd</sub>	17.4 N/mm <sup>2</sup>

**Acciaio**

f <sub>tk</sub>	540 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>yk</sub>	450 N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>s</sub>	1.15
f <sub>yd</sub>	391 N/mm <sup>2</sup>

**Sollecitazioni**

V <sub>Ed</sub>	kN	50.27	68.89
N <sub>Ed</sub>	kN	0	0

**Piedritto sx Piedritto dx**

**Armatura a taglio**

Diametro	mm	10	10
Numero barre		2.5	2.5
A <sub>sv</sub>	cm <sup>2</sup>	1.96	1.96
Passo s	cm	40	40
Angolo α		90	90

**Armatura longitudinale**

r <sub>1</sub>		5	5
Ø <sub>1</sub>	mm	14	14
r <sub>2</sub>		-	-
Ø <sub>2</sub>	mm	-	-
Asl	cm <sup>2</sup>	7.70	7.70

**Sezione**

b <sub>w</sub>	cm	100	100
H	cm	40	40
c	cm	7.1	7.1
d	cm	32.9	32.9
k	N/mm <sup>2</sup>	1.78	1.78
v <sub>min</sub>	N/mm <sup>2</sup>	0.46	0.46
ρ		0.0023	0.0023
σ <sub>cp</sub>	N/mm <sup>2</sup>	0.00	0.00
α <sub>c</sub>		1.00	1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

V <sub>Rd</sub>	kN	152	152
-----------------	----	-----	-----

**Resistenza con armatura a taglio**

Inclinazione puntone θ		21.8	21.8
V <sub>RSd</sub>	kN	142	142
V <sub>RCd</sub>	kN	888	888
V <sub>Rd</sub>	kN	142	142

coefficiente di sicurezza C.S. 2.83 2.06

**Elementi senza armatura a taglio**

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

**Elementi con armature trasversali resistenti al taglio**

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	96 di 161

• Verifica a fessurazione e delle tensioni

Spiccato Pinf-2

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>26.52</b>	kN m	<b>RARA</b>
Sforzo normale	N	<b>69.37</b>	kN	<b>172R3-23M</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>40</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5 Ø 14</b> $c_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0 Ø 0</b> $c_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0 Ø 0</b> $c_{s2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5 Ø 14</b> $c_{s1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>2.1</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>68.1</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	38.2	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	18.2	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>10.6</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	4216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	571758.577	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	98350.3104	cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	97 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^{*c}$	64	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	89	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	128.0	cm	
	$u (M_{fess})$	108.0	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.5		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	333.9	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	8.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	10.56	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{C,eff}$	1055.94	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0073	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00082639	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensile	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	462.512458	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	272.066152	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.22	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d =$ -			
	$w_{max} = 0.2$ -			
	$w_k <$ $w_{max}$ <b>verifica soddisfatta</b>			

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	98 di 161

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>9.74</b> kN m	<b>QUASI PERMANENTE</b>
Sforzo normale	N	<b>32.94</b> kN	<b>232QPT2</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b> N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b> N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	12.3 N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94 N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b> N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>40</b> cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b> cm	
Armatura compressa (1° strato)	$As_1'$	7.70 cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$As_2'$	0.00 cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$As_2$	0.00 cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$As_1$	7.70 cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>0.8</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>20.4</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	29.6 cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	9.6 cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>11.8</b> cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	4216 cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	571758.577 cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	108910.576 cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	99 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	61 kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	86 kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	262.1 cm	
	$u (M_{fess})$	242.1 cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.4	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	347.9 N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	7.9 cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del caric $k_t$		<b>0.4</b>	
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	10.69 cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70 cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	1069.08 cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0072	-
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00088648	-
Copriferro netto	$c'$	4.0 cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc $K_1$		<b>0.80</b>	-
Coefficiente dipendente dal diagramma tensit $K_2$		<b>0.50</b>	-
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b> mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	466.576092 mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	274.456525 mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.24 mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_k$	-	mm
Tipo di armatura	Poco sensibile		
Condizioni ambientali	Aggressive		
Stato limite	Rara		
Valore limite di apertura delle fessure	$w_l=0.2$ mm		
	$w_d$	-	-
	$w_{max}$	= 0.2	-
	$w_k$	<	$w_{max}$ <b>verifica soddisfatta</b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	100 di 161

Sommità Psup-1

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>22.95</b>	kN m	<b>RARA</b>
Sforzo normale	N	<b>92.83</b>	kN	<b>163R3-13M</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>40</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$As_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $C_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$As_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$As_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$As_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $C_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>1.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>39.5</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	24.7	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	4.7	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>13.1</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	4216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	571758.577	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	124254.958	cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	101 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	65	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	90	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	97.4	cm	
	$u (M_{fess})$	77.4	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	324.9	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	8.6	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico $k_t$		<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	10.47	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_{es}$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	1047.38	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0073	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00078842	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc $K_1$		<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensile $K_2$		<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{ec}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	459.867438	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	270.510258	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.21	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura		Poco sensibile		
Condizioni ambientali		Aggressive		
Stato limite		Rara		
Valore limite di apertura delle fessure		$w_1=0.2$ mm		
		$w_d=$ -	-	
		$w_{max} = 0.2$	-	
		$w_k <$	$w_{max}$	verifica soddisfatta

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	102 di 161

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>5.90</b>	kN m	<b>QUASI PERMANENTE</b>
Sforzo normale	N	<b>22.04</b>	kN	

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	12.3	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	$n$	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>40</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$As_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $C_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$As_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $C_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$As_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $C_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$As_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $C_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>0.5</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>11.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	26.8	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	6.8	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	12.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	4216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	571758.577	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	116207.408	cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	103 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	60	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	86	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	388.3	cm	
	$u (M_{fess})$	368.3	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.3		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	352.1	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	7.8	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	10.73	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{S,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{C,eff}$	1072.98	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0072	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00090471	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensile	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr. ed armatura	$\phi_{ec}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	467.782487	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	275.166169	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.25	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d$	-	-	
	$w_{max}$	= 0.2	-	
	$w_k$	<	$w_{max}$	verifica soddisfatta

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	104 di 161

### 9.3.2 Soletta superiore

Armatura a flessione:

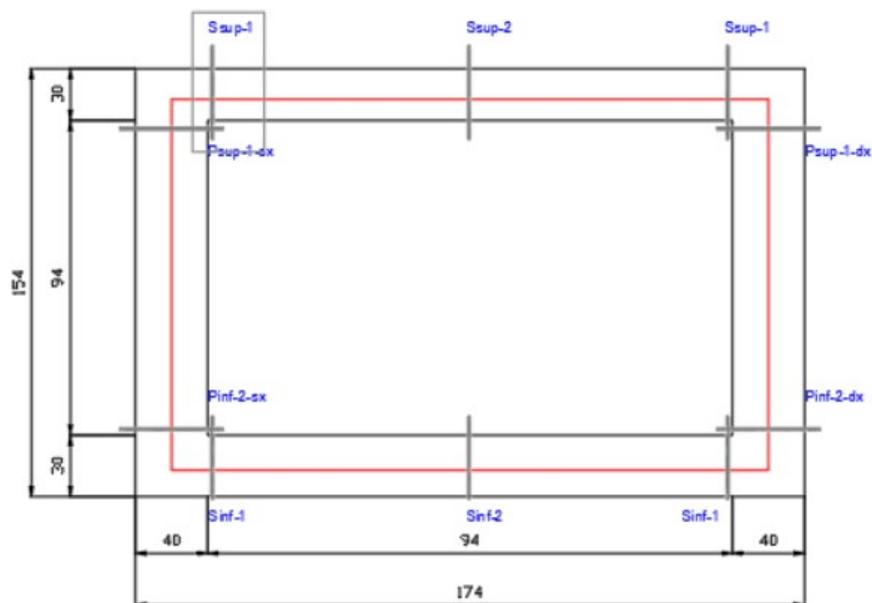
- Appoggio Ssup-1: Armatura tesa  $\phi 14/20$  cm  
Armatura compressa  $\phi 14/20$  cm
- Campata Ssup-2: Armatura tesa  $\phi 14/20$  cm  
Armatura compressa  $\phi 14/20$  cm

Armatura a taglio: Spille  $\phi 10/20 \times 40$  cm

Armatura longitudinale:  $\phi 14/20$  cm

- **Verifica a flessione**

Appoggio Ssup-1



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	105 di 161

**Acciaio**

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

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37			
$R_{ck}$	37	N/mm <sup>2</sup>		
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>		
$\gamma_c$	1.5			
$f_{cd}$	20.5	N/mm <sup>2</sup>		
$f_{cc}$	17.4	N/mm <sup>2</sup>		

**Geometria della sezione**

Altezza geometrica della sezic	$h$	=	30	cm
Base della sezione	$b$	=	100	cm
Copriferro netto	$c$	=	40	mm
Armatura a taglio	$\phi$	=	10	mm
Armatura di ripartizione	$\phi$	=	14	mm
Copriferro	$c'$	=	7.1	cm
Altezza utile della sezione	$d$	=	22.9	cm

**Armatura tesa**

N° ferri	Diametro	Area	
5	14	7.70	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>7.70</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**Armatura compressa**

N° ferri	Diametro	Area	
5	14	7.70	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>7.70</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	106 di 161

**Caratteristiche di sollecitazione**

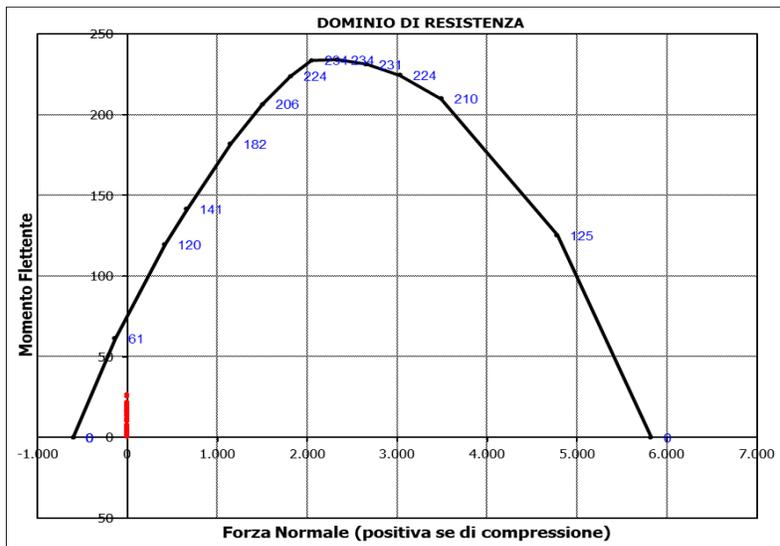
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0.00	13.91
02S1-11T	0.00	13.91
03S1-12M	0.00	15.53
04S1-12T	0.00	15.53
05S1-13M	0.00	21.95
06S1-13T	0.00	21.95
07S1-14-	0.00	5.63
08S1-15-	0.00	12.05
09S1-16S	0.00	13.07
10S1-17S	0.00	13.45
11S1-18S	0.00	14.81
12S1-19S	0.00	4.39
13S1-20S	0.00	5.75
14S1-21M	0.00	2.23
15S1-21T	0.00	2.23
16S1-22M	0.00	0.61
17S1-22T	0.00	0.61
18S1-23M	0.00	5.81
19S1-23T	0.00	5.81
20S1-24-	0.00	10.51
21S1-25-	0.00	4.09
22S1-26S	0.00	3.07
23S1-27S	0.00	2.69
24S1-28S	0.00	1.33
25S1-29S	0.00	11.75
26S1-30S	0.00	10.39
27S1T11M	0.00	19.93
28S1T11T	0.00	19.93
29S1T12M	0.00	21.26
30S1T12T	0.00	21.26
31S1T13M	0.00	26.51
32S1T13T	0.00	26.51
33S1T14-	0.00	10.72
34S1T15-	0.00	15.97
35S1T16S	0.00	19.26
36S1T17S	0.00	19.60
37S1T18S	0.00	20.80
38S1T19S	0.00	9.73
39S1T20S	0.00	10.93
40S1T21M	0.00	6.97
41S1T21T	0.00	6.97
42S1T22M	0.00	5.63
43S1T22T	0.00	5.63

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd
44S1T23M	0.00	0.39
45S1T23T	0.00	0.39
46S1T24-	0.00	16.17
47S1T25-	0.00	10.93
48S1T26S	0.00	7.64
49S1T27S	0.00	7.30
50S1T28S	0.00	6.10
51S1T29S	0.00	17.16
52S1T30S	0.00	15.97
53S3-11M	0.00	17.19
54S3-11T	0.00	17.19
55S3-12M	0.00	18.81
56S3-12T	0.00	18.81
57S3-13M	0.00	25.22
58S3-13T	0.00	25.22
59S3-14S	0.00	16.34
60S3-15S	0.00	16.72
61S3-16S	0.00	18.08
62S3-21M	0.00	1.05
63S3-21T	0.00	1.05
64S3-22M	0.00	2.38
65S3-22T	0.00	2.38
66S3-23M	0.00	7.62
67S3-23T	0.00	7.62
68S3-24S	0.00	0.20
69S3-25S	0.00	0.55
70S3-26S	0.00	1.74
71SSS1--	0.00	5.15
72SSS2--	0.00	5.11
73SSS3--	0.00	4.02
74SSS4--	0.00	3.88
75SSS5--	0.00	3.81
76SSS6--	0.00	3.85
77SSS7--	0.00	4.94
78SSS8--	0.00	5.08
79SSS9S	0.00	4.17
80SSS10S	0.00	4.13
81SSS11S	0.00	3.04
82SSS12S	0.00	2.90
83SSS13S	0.00	4.80
84SSS14S	0.00	4.84
85SSS15S	0.00	5.93
86SSS16S	0.00	6.07

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	107 di 161



**Caratteristiche di sollecitazione**

	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	01S1-11M	0.00	13.91
(Nmin)	01S1-11M	0.00	13.91
(Mmax)	31S1T13M	0.00	26.51
(Mmin)	68S3-24S	0.00	0.20

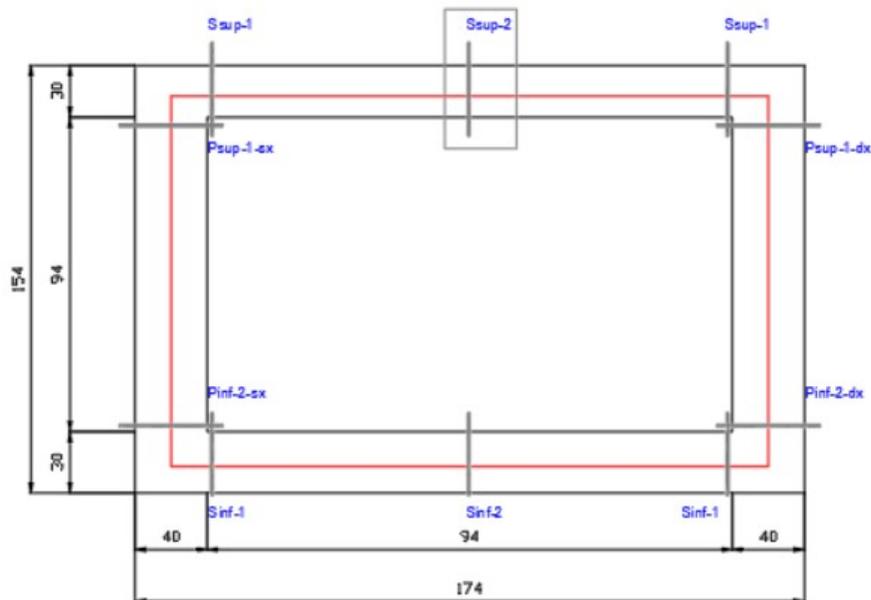
**DOMINIO DI RESISTENZA**

PUNTO	NRd [kN]	MRd [kNm]
1	-602	0
2	-602	0
3	-139	61
4	417	120
5	659	141
6	1148	182
7	1503	206
8	1817	224
9	2049	234
10	2338	234
11	2656	231
12	3031	224
13	3489	210
14	4779	125
15	5823	0

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	108 di 161

Campata Ssup-2



Acciaio

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

Calcestruzzo

Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

Geometria della sezione

Altezza geometrica della sezic	$h = 30$	cm
Base della sezione	$b = 100$	cm
Copriferro netto	$c = 40$	mm
Armatura a taglio	$\phi = 10$	mm
Armatura di ripartizione	$\phi = 14$	mm
Copriferro	$c' = 7.1$	cm
Altezza utile della sezione	$d = 22.9$	cm

Armatura tesa

N° ferri	Diametro	Area	
5	14	7.70	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>7.70</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa

N° ferri	Diametro	Area	
5	14	7.70	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
		<b>7.70</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	109 di 161

Caratteristiche di sollecitazioni

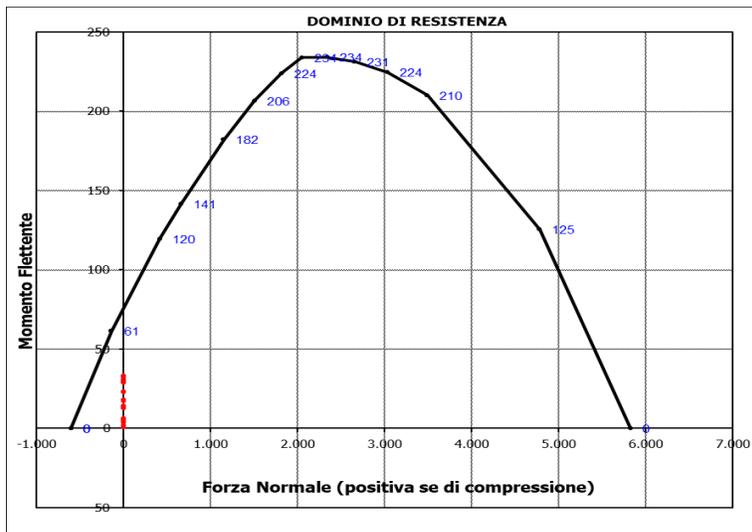
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0.00	14.41
02S1-11T	0.00	14.41
03S1-12M	0.00	12.79
04S1-12T	0.00	12.79
05S1-13M	0.00	13.60
06S1-13T	0.00	13.60
07S1-14-	0.00	0.57
08S1-15-	0.00	1.38
09S1-16S	0.00	12.85
10S1-17S	0.00	12.47
11S1-18S	0.00	12.66
12S1-19S	0.00	1.81
13S1-20S	0.00	2.00
14S1-21M	0.00	30.55
15S1-21T	0.00	30.55
16S1-22M	0.00	28.93
17S1-22T	0.00	28.93
18S1-23M	0.00	29.74
19S1-23T	0.00	29.74
20S1-24-	0.00	16.71
21S1-25-	0.00	17.52
22S1-26S	0.00	28.99
23S1-27S	0.00	28.61
24S1-28S	0.00	28.80
25S1-29S	0.00	17.95
26S1-30S	0.00	18.14
27S1T11M	0.00	6.58
28S1T11T	0.00	6.58
29S1T12M	0.00	5.25
30S1T12T	0.00	5.25
31S1T13M	0.00	5.92
32S1T13T	0.00	5.92
33S1T14-	0.00	4.52
34S1T15-	0.00	3.86
35S1T16S	0.00	5.34
36S1T17S	0.00	5.00
37S1T18S	0.00	5.17
38S1T19S	0.00	3.53
39S1T20S	0.00	3.36
40S1T21M	0.00	33.48
41S1T21T	0.00	33.48
42S1T22N	0.00	32.15
43S1T22T	0.00	32.15

Caratteristiche di sollecitazioni

Comb.	Nsd	Msd
44S1T23M	0.00	32.82
45S1T23T	0.00	32.82
46S1T24-	0.00	22.37
47S1T25-	0.00	23.04
48S1T26S	0.00	32.24
49S1T27S	0.00	31.90
50S1T28S	0.00	32.07
51S1T29S	0.00	23.37
52S1T30S	0.00	23.54
53S3-11M	0.00	14.41
54S3-11T	0.00	14.41
55S3-12M	0.00	12.79
56S3-12T	0.00	12.79
57S3-13M	0.00	13.60
58S3-13T	0.00	13.60
59S3-14S	0.00	12.85
60S3-15S	0.00	12.47
61S3-16S	0.00	12.66
62S3-21M	0.00	30.55
63S3-21T	0.00	30.55
64S3-22M	0.00	29.21
65S3-22T	0.00	29.21
66S3-23M	0.00	29.88
67S3-23T	0.00	29.88
68S3-24S	0.00	28.99
69S3-25S	0.00	28.65
70S3-26S	0.00	28.82
71SSS1-	0.00	5.01
72SSS2-	0.00	4.94
73SSS3-	0.00	5.16
74SSS4-	0.00	4.91
75SSS5-	0.00	13.98
76SSS6-	0.00	13.90
77SSS7-	0.00	14.13
78SSS8-	0.00	13.87
79SSS9S	0.00	4.88
80SSS10S	0.00	4.81
81SSS11S	0.00	5.03
82SSS12S	0.00	4.78
83SSS13S	0.00	13.85
84SSS14S	0.00	13.77
85SSS15S	0.00	14.00
86SSS16S	0.00	13.74

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	110 di 161



**Caratteristiche di sollecitazione**

	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	01S1-11M	0.00	14.41
(Nmin)	01S1-11M	0.00	14.41
(Mmax)	40STT21v	0.00	33.48
(Mmin)	07S1-14-	0.00	0.57

**DOMINIO DI RESISTENZA**

**PUNTO NRd [kN] MRd [kNm]**

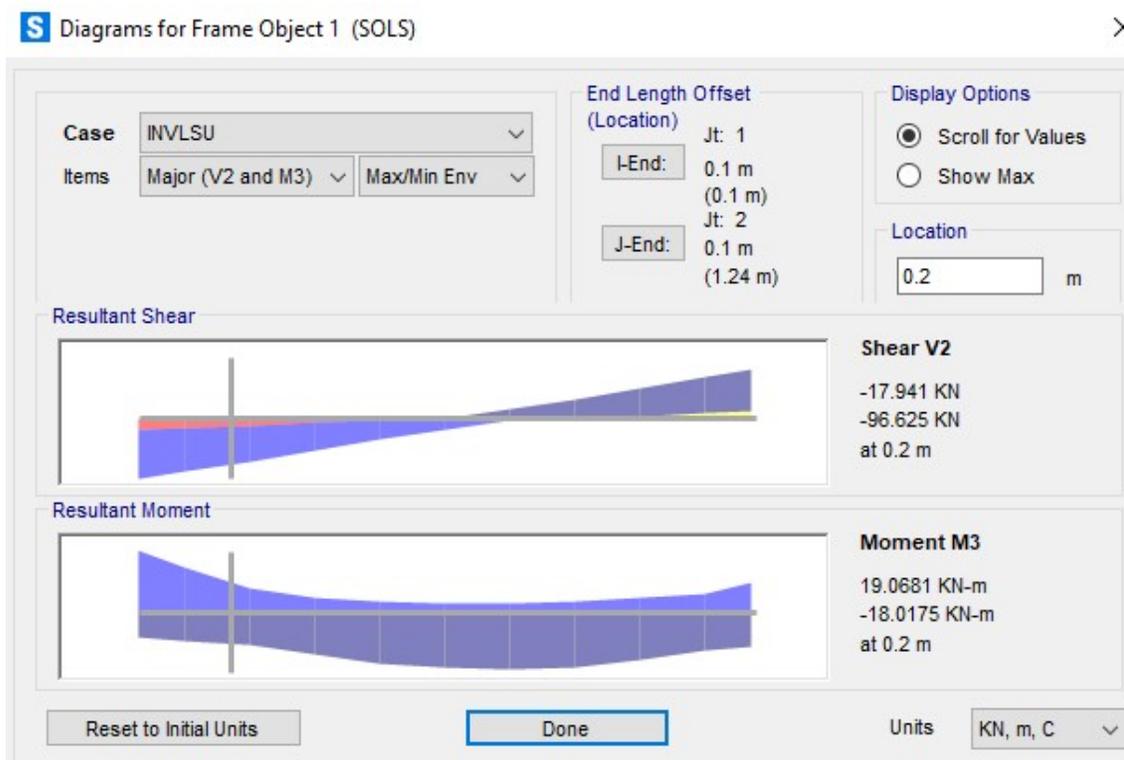
1	-602	0
2	-602	0
3	-139	61
4	417	120
5	659	141
6	1148	182
7	1503	206
8	1817	224
9	2049	234
10	2338	234
11	2656	231
12	3031	224
13	3489	210
14	4779	125
15	5823	0

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	111 di 161

- Verifica a taglio**

Si riportano i valori delle sollecitazioni taglianti in corrispondenza del filo interno dell'elemento in esame:



RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	112 di 161

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37	
R <sub>ck</sub>	37	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>ck</sub>	30.7	N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>c</sub>	1.5	
α <sub>cc</sub>	0.85	
f <sub>cd</sub>	17.4	N/mm <sup>2</sup>

**Acciaio**

f <sub>yk</sub>	540	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>yk</sub>	450	N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>s</sub>	1.15	
f <sub>yd</sub>	391	N/mm <sup>2</sup>

**Sollecitazioni**

V <sub>Ed</sub>	kN	<b>96.63</b>
N <sub>Ed</sub>	kN	<b>0</b>

**Soletta sup**

**Armatura a taglio**

Diametro	mm	10
Numero barre		5
A <sub>rw</sub>	cm <sup>2</sup>	3.93
Passo s	cm	40
Angolo α		90

**Armatura longitudinale**

n <sub>1</sub>		5
Ø <sub>1</sub>	mm	14
n <sub>2</sub>		-
Ø <sub>2</sub>	mm	-
A <sub>sl</sub>	cm <sup>2</sup>	7.70

**Sezione**

b <sub>w</sub>	cm	100
H	cm	30
c	cm	7.1
d	cm	22.9
k	N/mm <sup>2</sup>	1.93
v <sub>min</sub>	N/mm <sup>2</sup>	0.52
ρ		0.0034
σ <sub>cp</sub>	N/mm <sup>2</sup>	0.00
α <sub>c</sub>		1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

V <sub>Rd</sub>	kN	<b>120</b>
-----------------	----	------------

**Resistenza con armatura a taglio**

Inclinazione puntone θ		21.8
V <sub>RSd</sub>	kN	198
V <sub>Rcd</sub>	kN	618
V <sub>Rd</sub>	kN	<b>198</b>

coefficiente di sicurezza C.S. **2.05**

**Elementi senza armatura a taglio**

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

**Elementi con armature trasversali resistenti al taglio**

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	113 di 161

• **Verifica a fessurazione e delle tensioni**

Appoggio Ssup-1- N≠0

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>17.30</b>	kN m	<b>RARA</b>
Sforzo normale	N	<b>25.12</b>	kN	<b>109R1T13M</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{amm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{amm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	$n$	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $c_{s1} = \nabla$ <b>7.1</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $c_{s2} = \nabla$ <b>7.8</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $c_{t2} = \nabla$ <b>7.8</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $c_{t1} = \nabla$ <b>7.1</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>2.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>89.3</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	68.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	53.9	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	<b>7.1</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.9096	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	40711.1757	cm <sup>4</sup>	

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	114 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	34	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	48	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	191.9	cm	
	$u (M_{fess})$	176.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.5		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	280.1	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	6.6	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.81	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{S,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{C,eff}$	780.71	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0099	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000748612	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	377.4060932	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	222.0035842	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.17	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d$	=	-	
	$w_{max}$	=	0.2	
	$w_k$	<	$w_{max}$	<b>verifica soddisfatta</b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	115 di 161

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>0.68</b> kN m	<b>QUASI PERMANENTE</b>
Sforzo normale	N	<b>1.55</b> kN	<b>231QPT1</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b> N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b> N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	12.3 N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94 N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b> N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b> cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b> cm	
Armatura compressa (1° strato)	$As_1'$	7.70 cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $c_{s1} = \mathbf{7.1}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$As_2'$	0.00 cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $c_{s2} = \mathbf{7.8}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$As_2$	0.00 cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $c_{t2} = \mathbf{7.8}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$As_1$	7.70 cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $c_{t1} = \mathbf{7.1}$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>0.1</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>3.1</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	43.7 cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	28.7 cm	
Posizione asse neutro	y (M)	7.6 cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216 cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91 cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	41614.9481 cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	116 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^{*}$	33	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	47	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	3030.5	cm	
	$u (M_{fess})$	3015.5	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	289.6	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	6.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del caric $k_t$		<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.89	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	788.54	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0098	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00078877	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc $K_1$		<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensi $K_2$		<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	379.829857	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	223.429328	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.18	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura		Poco sensibile		
Condizioni ambientali		Aggressive		
Stato limite		Rara		
Valore limite di apertura delle fessure		$w_1=0.2$ mm		
		$w_d =$ -	-	
		$w_{max} =$ 0.2	-	
		$w_k <$	$w_{max}$ <b>verifica soddisfatta</b>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	117 di 161

Campata Ssup-2 - N≠0

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	24.35	kN m	<b>RARA</b>
Sforzo normale	N	3.79	kN	<b>118R1T23M</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	37	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{amm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.06	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{amm}$	337.5	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	30	cm	
Larghezza sezione	B	100	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	3.8	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	147.8	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	641.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	626.9	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	6.4	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	40227.12	cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	118 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	33	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	47	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	1242.9	cm	
	$u (M_{fess})$	1227.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	288.7	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	6.4	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.88	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	787.80	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0098	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00078492	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensi	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	379.600517	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	223.294422	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_{m}$	0.18	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_k$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d$	-	-	
	$w_{max}$	=	0.2	
	$w_k$	<		$w_{max}$ <b>verifica soddisfatta</b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	119 di 161

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	12.54	kN m	<b>QUASI PERMANENTE</b>
Sforzo normale	N	9.34	kN	<b>232QPT2</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	37	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	12.3	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.06	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	205000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	337.5	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	30	cm	
Larghezza sezione	B	100	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	2.0	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	70.9	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	134.3	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	119.3	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	6.7	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	40337.8253	cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	120 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}$	33	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	47	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	507.9	cm	
	$u (M_{fess})$	492.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	286.4	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	6.4	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del calc $k_t$		<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.86	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_{es}$	6.2	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{S,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{C,eff}$	785.96	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0098	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00077544	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc $K_1$		<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensile $K_2$		<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	379.032179	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	222.960105	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.17	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d$	-	-	
	$w_{max}$	=	0.2	
	$w_k$	<	$w_{max}$	verifica soddisfatta

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Y	00 D 11	CL	RI0003 001	A	121 di 161

### 9.3.3 Soletta inferiore

Armatura a flessione:

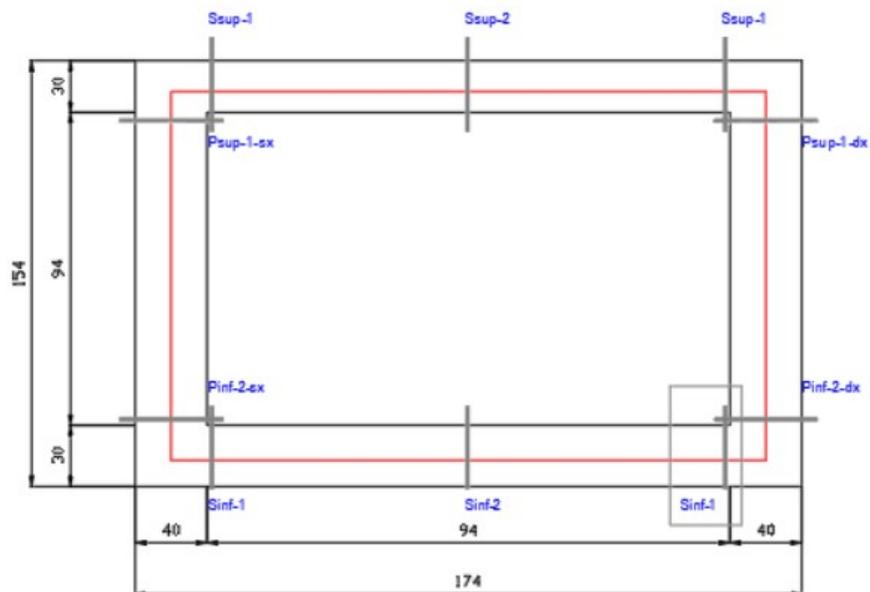
- Appoggio Sinf-1: Armatura tesa  $\phi 14/20$  cm  
Armatura compressa  $\phi 14/20$  cm
- Campata Sinf-2: Armatura tesa  $\phi 14/20$  cm  
Armatura compressa  $\phi 14/20$  cm

Armatura a taglio: Spille  $\phi 10/40 \times 40$  cm

Armatura longitudinale:  $\phi 14/20$  cm

- **Verifica a flessione**

Appoggio Sinf-1



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	122 di 161

**Acciaio**

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

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37
$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	20.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	17.4 N/mm <sup>2</sup>

**Geometria della sezione**

Altezza geometrica della sezione	$h$	=	30	cm
Base della sezione	$b$	=	100	cm
Copriferro netto	$c$	=	40	mm
Armatura a taglio	$\phi$	=	10	mm
Armatura di ripartizione	$\phi$	=	14	mm
Copriferro	$c'$	=	7.1	cm
Altezza utile della sezione	$d$	=	22.9	cm

**Armatura tesa**

N° ferri	Diametro	Area
5	14	7.70 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>7.70 cm<sup>2</sup></b>

**Armatura compressa**

N° ferri	Diametro	Area
5	14	7.70 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>7.70 cm<sup>2</sup></b>

**Caratteristiche di sollecitazione**

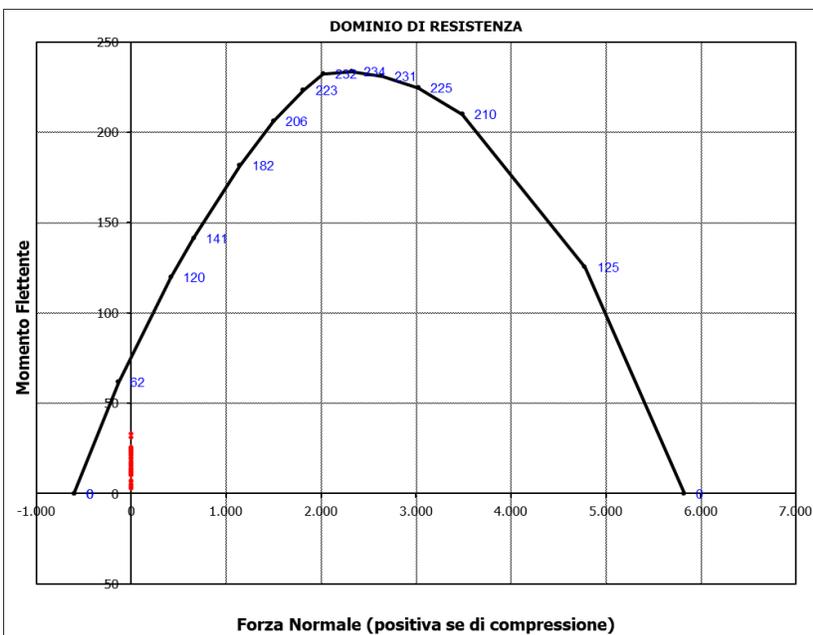
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0.00	11.45
02S1-11T	0.00	11.45
03S1-12M	0.00	13.07
04S1-12T	0.00	13.07
05S1-13M	0.00	22.61
06S1-13T	0.00	22.61
07S1-14-	0.00	6.59
08S1-15-	0.00	16.13
09S1-16S	0.00	11.07
10S1-17S	0.00	11.45
11S1-18S	0.00	13.53
12S1-19S	0.00	5.35
13S1-20S	0.00	7.43
14S1-21M	0.00	19.62
15S1-21T	0.00	19.62
16S1-22M	0.00	21.24
17S1-22T	0.00	21.24
18S1-23M	0.00	30.78
19S1-23T	0.00	30.78
20S1-24-	0.00	14.75
21S1-25-	0.00	24.29
22S1-26S	0.00	19.24
23S1-27S	0.00	19.61
24S1-28S	0.00	21.70
25S1-29S	0.00	13.51
26S1-30S	0.00	15.59
27S1T11M	0.00	10.22
28S1T11T	0.00	10.22
29S1T12M	0.00	11.55
30S1T12T	0.00	11.55
31S1T13M	0.00	19.36
32S1T13T	0.00	19.36
33S1T14-	0.00	3.58
34S1T15-	0.00	11.39
35S1T16S	0.00	9.91
36S1T17S	0.00	10.25
37S1T18S	0.00	12.10
38S1T19S	0.00	2.59
39S1T20S	0.00	4.43
40S1T21M	0.00	23.83
41S1T21T	0.00	23.83
42S1T22M	0.00	25.16
43S1T22T	0.00	25.16

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd
44S1T23M	0.00	32.97
45S1T23T	0.00	32.97
46S1T24-	0.00	17.19
47S1T25-	0.00	25.00
48S1T26S	0.00	23.52
49S1T27S	0.00	23.86
50S1T28S	0.00	25.71
51S1T29S	0.00	16.20
52S1T30S	0.00	18.04
53S3-11M	0.00	14.93
54S3-11T	0.00	14.93
55S3-12M	0.00	16.55
56S3-12T	0.00	16.55
57S3-13M	0.00	26.09
58S3-13T	0.00	26.09
59S3-14S	0.00	14.55
60S3-15S	0.00	14.93
61S3-16S	0.00	17.01
62S3-21M	0.00	23.10
63S3-21T	0.00	23.10
64S3-22M	0.00	24.43
65S3-22T	0.00	24.43
66S3-23M	0.00	32.24
67S3-23T	0.00	32.24
68S3-24S	0.00	22.72
69S3-25S	0.00	23.05
70S3-26S	0.00	24.90
71SSS1--	0.00	10.08
72SSS2--	0.00	10.06
73SSS3--	0.00	8.61
74SSS4--	0.00	8.55
75SSS5--	0.00	14.61
76SSS6--	0.00	14.59
77SSS7--	0.00	13.15
78SSS8--	0.00	13.09
79SSS9S	0.00	8.83
80SSS10S	0.00	8.81
81SSS11S	0.00	7.36
82SSS12S	0.00	7.30
83SSS13S	0.00	13.36
84SSS14S	0.00	13.34
85SSS15S	0.00	11.90
86SSS16S	0.00	11.83

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	123 di 161



**Caratteristiche di sollecitazione**

	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	01S1-11M	0.00	11.45
(Nmin)	01S1-11M	0.00	11.45
(Mmax)	44S1T23M	0.00	32.97
(Mmin)	38S1T19C	0.00	2.59

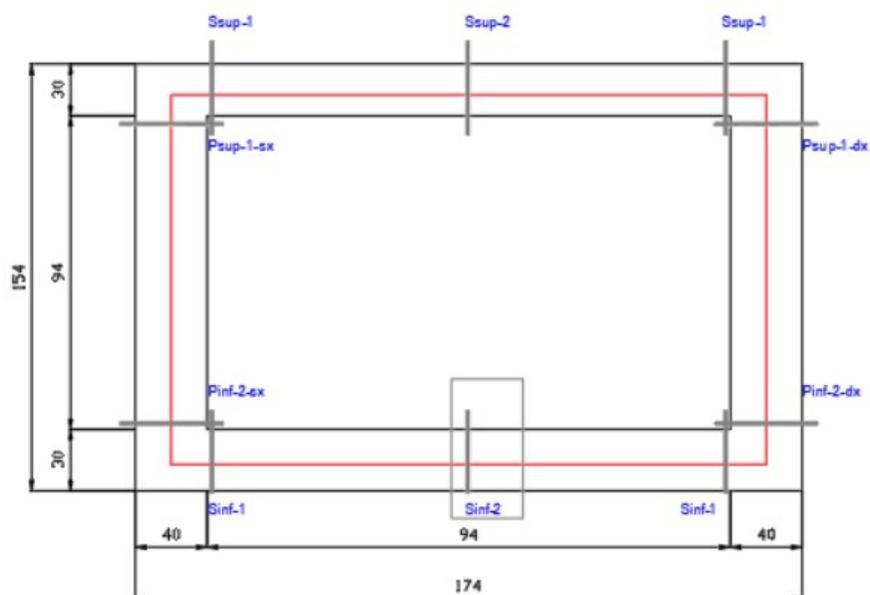
**DOMINIO DI RESISTENZA**

PUNTO	NRd [kN]	MRd [kNm]
1	-602	0
2	-602	0
3	-132	62
4	419	120
5	659	141
6	1145	182
7	1498	206
8	1811	223
9	2022	232
10	2322	234
11	2642	231
12	3023	225
13	3489	210
14	4779	125
15	5823	0

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	124 di 161

Campata Sinf-2



Acciaio

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

Calcestruzzo

Tipo	C30/37		
$R_{ck}$	37	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>	
$\gamma_c$	1.5		
$f_{cd}$	20.5	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cc}$	17.4	N/mm <sup>2</sup>	

Geometria della sezione

Altezza geometrica della sezione	$h$	=	30	cm
Base della sezione	$b$	=	100	cm
Copriferro netto	$c$	=	40	mm
Armatura a taglio	$\phi$	=	10	mm
Armatura di ripartizione	$\phi$	=	14	mm
Copriferro	$c'$	=	7.1	cm
Altezza utile della sezione	$d$	=	22.9	cm

Armatura tesa

N° ferri	Diametro	Area
5	14	7.70 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>7.70 cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa

N° ferri	Diametro	Area
5	14	7.70 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>7.70 cm<sup>2</sup></b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	125 di 161

**Caratteristiche di sollecitazione**

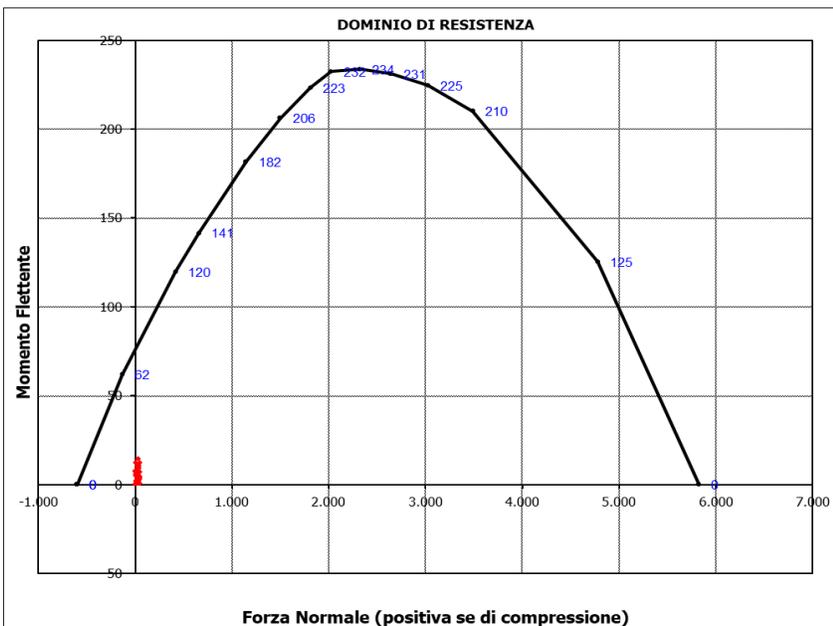
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0.00	7.47
02S1-11T	0.00	7.47
03S1-12M	0.00	5.85
04S1-12T	0.00	5.85
05S1-13M	0.00	12.35
06S1-13T	0.00	12.35
07S1-14-	0.00	1.77
08S1-15-	0.00	4.74
09S1-16S	0.00	6.75
10S1-17S	0.00	6.37
11S1-18S	0.00	7.81
12S1-19S	0.00	0.53
13S1-20S	0.00	0.91
14S1-21M	0.00	0.69
15S1-21T	0.00	0.69
16S1-22M	0.00	2.31
17S1-22T	0.00	2.31
18S1-23M	0.00	4.19
19S1-23T	0.00	4.19
20S1-24-	0.00	9.93
21S1-25-	0.00	3.42
22S1-26S	0.00	1.41
23S1-27S	0.00	1.79
24S1-28S	0.00	0.35
25S1-29S	0.00	8.69
26S1-30S	0.00	7.25
27S1T11M	0.00	10.23
28S1T11T	0.00	10.23
29S1T12M	0.00	8.90
30S1T12T	0.00	8.90
31S1T13M	0.00	14.23
32S1T13T	0.00	14.23
33S1T14-	0.00	1.24
34S1T15-	0.00	6.57
35S1T16S	0.00	9.65
36S1T17S	0.00	9.31
37S1T18S	0.00	10.59
38S1T19S	0.00	2.23
39S1T20S	0.00	3.51
40S1T21M	0.00	3.37
41S1T21T	0.00	3.37
42S1T22M	0.00	4.70
43S1T22T	0.00	4.70

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd
44S1T23M	0.00	0.63
45S1T23T	0.00	0.63
46S1T24-	0.00	12.36
47S1T25-	0.00	7.03
48S1T26S	0.00	3.95
49S1T27S	0.00	4.29
50S1T28S	0.00	3.01
51S1T29S	0.00	11.37
52S1T30S	0.00	10.09
53S3-11M	0.00	9.42
54S3-11T	0.00	9.42
55S3-12M	0.00	7.81
56S3-12T	0.00	7.81
57S3-13M	0.00	14.31
58S3-13T	0.00	14.31
59S3-14S	0.00	8.70
60S3-15S	0.00	8.32
61S3-16S	0.00	9.76
62S3-21M	0.00	1.26
63S3-21T	0.00	1.26
64S3-22M	0.00	0.07
65S3-22T	0.00	0.07
66S3-23M	0.00	5.26
67S3-23T	0.00	5.26
68S3-24S	0.00	0.54
69S3-25S	0.00	0.20
70S3-26S	0.00	1.48
71SSS1--	0.00	1.45
72SSS2--	0.00	1.41
73SSS3--	0.00	0.76
74SSS4--	0.00	0.64
75SSS5--	0.00	3.08
76SSS6--	0.00	3.12
77SSS7--	0.00	3.78
78SSS8--	0.00	3.90
79SSS9S	0.00	0.82
80SSS10S	0.00	0.79
81SSS11S	0.00	0.13
82SSS12S	0.00	0.01
83SSS13S	0.00	3.71
84SSS14S	0.00	3.75
85SSS15S	0.00	4.40
86SSS16S	0.00	4.52

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	126 di 161



**Caratteristiche di sollecitazione**

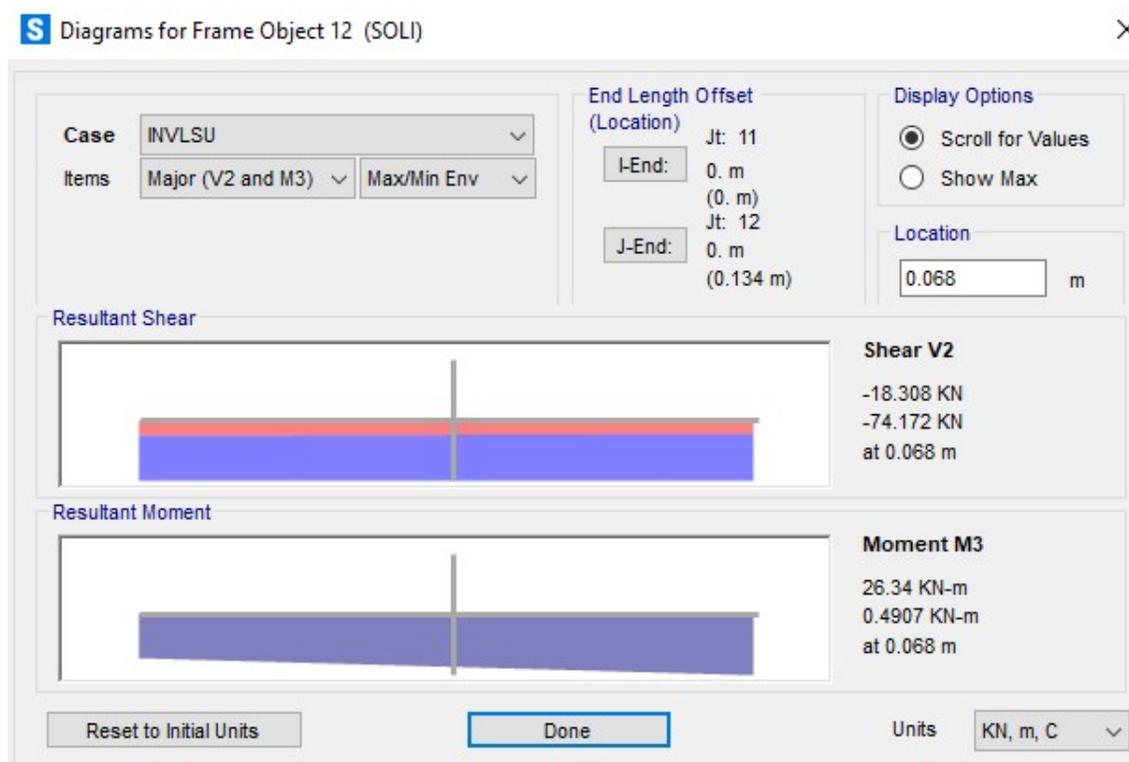
	Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	01S1-11M	0.00	7.47
(Nmin)	01S1-11M	0.00	7.47
(Mmax)	57S3-13M	0.00	14.31
(Mmin)	82SSS12S	0.00	0.01

**DOMINIO DI RESISTENZA**

PUNTO	NRd [kN]	MRd [kNm]
1	-602	0
2	-602	0
3	-132	62
4	419	120
5	659	141
6	1145	182
7	1498	206
8	1811	223
9	2022	232
10	2322	234
11	2642	231
12	3023	225
13	3489	210
14	4779	125
15	5823	0

- Verifica a taglio**

Si riportano i valori delle sollecitazioni taglianti in corrispondenza del filo interno dell' elemento in esame:



RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	128 di 161

**Calcestruzzo**

Tipo	C30/37	
$R_{ck}$	37	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	30.7	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	17.4	N/mm <sup>2</sup>

**Acciaio**

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

**Sollecitazioni**

$V_{Ed}$	kN	<b>74.17</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

**Soletta inf**

**Armatura a taglio**

Diametro	mm	10
Numero barre		2.5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	1.96
Passo s	cm	40
Angolo $\alpha$		90

**Armatura longitudinale**

$\rho_1$		5
$\varnothing_1$	mm	14
$\rho_2$		-
$\varnothing_2$	mm	-
$A_{sl}$	cm <sup>2</sup>	7.70

**Sezione**

$b_u$	cm	100
H	cm	30
c	cm	7.1
d	cm	22.9
k	N/mm <sup>2</sup>	1.93
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.52
$\rho$		0.0034
$\rho_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_s$		1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

$V_{Rd}$	kN	<b>120</b>
----------	----	------------

**Resistenza con armatura a taglio**

Inclinazione puntone $\theta$		21.8
$V_{RSd}$	kN	99
$V_{RCd}$	kN	618
<b><math>V_{Rd}</math></b>	kN	<b>99</b>

coefficiente di sicurezza C.S. **1.33**

**Elementi senza armatura a taglio**

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

**Elementi con armature trasversali resistenti al taglio**

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	129 di 161

• **Verifica a fessurazione e delle tensioni**

Appoggio Sinf-1- N≠0

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>24.95</b> kN m	<b>RARA</b>
Sforzo normale	N	<b>64.26</b> kN	<b>172R3-23M</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	16.9	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $C_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $C_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $C_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>3.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>109.6</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	38.8	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	23.8	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>7.8</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	42073.3895	cm <sup>4</sup>	

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	130 di 161

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	36	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	50	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	78.0	cm	
	$u (M_{fess})$	63.0	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	264.7	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	7.0	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	0.4		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.67	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	767.49	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0100	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00070134	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc	$K_1$	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensil	$K_2$	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	14.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	373.319469	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	219.599688	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_{m}$	0.15	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_l=0.2$ mm			
	$w_d$	-	-	
	$w_{max}$	= 0.2	-	
	$w_k$	<	$w_{max}$	verifica soddisfatta

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	131 di 161

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>9.44</b> kN m	<b>QUASI PERMANENTE</b>
Sforzo normale	N	<b>21.92</b> kN	

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b> N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b> N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	12.3 N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94 N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b> N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b> cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b> cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70 cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $C_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00 cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $C_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00 cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $C_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70 cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $C_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>1.4</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>43.1</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	43.0 cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	28.0 cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>7.6</b> cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216 cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91 cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id+}$	41664.1944 cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	132 di 161

Campata Sinf-2- N≠0

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>9.18</b> kN m	<b>RARA</b>
Sforzo normale	N	<b>13.54</b> kN	<b>163R3-13M</b>

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b> N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b> N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	16.9 N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94 N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b> N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b> cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b> cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70 cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $c_{s1} = \mathbf{7.1}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00 cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $c_{s2} = \mathbf{7.8}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00 cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b> $c_{t2} = \mathbf{7.1}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70 cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>14</b> $c_{t1} = \mathbf{7.1}$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>1.4</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>47.2</b> N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	67.8 cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	52.8 cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>7.1</b> cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216 cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91 cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	40728.7855 cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	133 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	34	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	48	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	351.7	cm	
	$u (M_{fess})$	336.7	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.5		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	284.8	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	6.5	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del caric $k_t$		<b>0.4</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.85	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	784.57	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0098	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00078836	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc $K_1$		<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensile $K_2$		<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>14.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	378.600162	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	222.705978	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_{m}$	0.18	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_k$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d$	-	-	
	$w_{max}$	= 0.2	-	
	$w_k$	<	$w_{max}$	<b>verifica soddisfatta</b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	134 di 161

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>1.53</b>	kN m	<b>QUASI PERMANENTE</b> <b>231QPT1</b>
Sforzo normale	N	<b>11.03</b>	kN	

**Materiali**

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	$f_{ck}$	<b>30.71</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm}$	33019.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{camm}$	12.3	N/mm <sup>2</sup>
Res. media a trazione cls	$f_{ctm}$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Res. caratteristica a trazione cls	$f_{ctk}$	2.1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450.00	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s$	200000.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{samm}$	<b>337.5</b>	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	<b>15</b>	

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>30</b>	cm	
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm	
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{s1} = 7.1$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{s2} = 7.8$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0 $c_{t2} = 7.1$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	7.70	cm <sup>2</sup>	5 Ø 14 $c_{t1} = 7.1$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>0.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>2.5</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	13.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	-1.1	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	<b>12.4</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	3216	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	239410.91	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	79090.623	cm <sup>4</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	135 di 161

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	33	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	48	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e (M_{fess})$	430.6	cm	
	$u (M_{fess})$	415.6	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	7.5		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	285.8	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y (M_{fess})$	6.4	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	0.4		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	7.85	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	7.70	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$A_{c,eff}$	785.40	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0098	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00079275	-	
Copriferro netto	$c'$	4.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acc	$K_1$	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensil	$K_2$	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	14.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	378.858136	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_{m}$	222.857727	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_{m}$	0.18	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	-	mm	
Tipo di armatura	Poco sensibile			
Condizioni ambientali	Aggressive			
Stato limite	Rara			
Valore limite di apertura delle fessure	$w_1=0.2$ mm			
	$w_d$	-	-	
	$w_{max}$	=	0.2	
	$w_k$	<		$w_{max}$ <b>verifica soddisfatta</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NMOY	LOTTO 00 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0003 001	REV. A

## 10. VERIFICHE GEOTECNICHE

### 10.1.1 Verifica di capacità portante verticale

La verifica geotecnica presa a riferimento per lo studio dello scatolare in esame è la verifica al carico limite della fondazione.

L'approccio di verifica adottato per la verifica geotecnica è l'approccio A1+M1+R3. I coefficienti parziali per le azioni e per i materiali sono riportati nelle tabelle che seguono:

Tabella 10-1. Coefficienti parziali dei parametri geotecnici

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1.0	1.25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1.0	1.0

Per le verifiche geotecniche in condizioni statiche, si adottano i seguenti coefficienti di sicurezza:

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Per le verifiche geotecniche in condizioni sismiche si adottano i coefficienti di sicurezza come indicato nei paragrafi corrispondenti.

Nel dettaglio la verifica al carico limite di fondazione è una verifica a rottura del terreno di fondazione. Tale verifica si ritiene soddisfatta se il rapporto tra il carico limite in fondazione  $Q_u$  e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione risulta superiore al fattore di sicurezza definito dalle NTC 18.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA. TRATTA TORINO - MILANO. NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>137 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	137 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	137 di 161								

La verifica di capacità portante verticale si esegue in accordo con le espressioni di Brinch-Hansen del 1970, prendendo a riferimento una condizione di terreno incoerente.

• **Metodo di calcolo della capacità portante verticale**

Per la valutazione della capacità portante verticale della fondazione superficiale si ricorre all'utilizzo delle formule di Terzaghi. Secondo tale approccio di calcolo il carico limite è definito come:

$$q_{lim} = N_q \gamma_1 D + N_c c + N_y \gamma_2 \frac{B}{2}$$

dove:

- D è la profondità di terreno compreso fra il piano di posa della fondazione e la superficie del terreno;
- $\gamma_1$  è il peso dell'unità di volume del terreno compreso fra il piano di posa della fondazione e la superficie del terreno;
- c è la coesione del terreno sottostante il piano di posa;
- $\gamma_2$  è il peso dell'unità di volume del terreno sottostante il piano di posa interessato dal meccanismo di rottura (in presenza di falda tale peso viene valutato opportunamente);
- $\gamma_1$  sono coefficienti di carico limite i cui valori sono valutati in funzione dell'angolo di attrito del terreno sottostante il piano di posa.

I coefficienti di capacità portante  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$  sono espressi come:

$$N_c = (N_q - 1) ctg \varphi$$

$$N_q = \frac{1 + \text{sen} \varphi}{1 - \text{sen} \varphi} e^{\pi \text{tg} \varphi}$$

$$N_y = 2(N_q + 1) \text{tg} \varphi$$

Tale formulazione del carico limite è valida solo nelle ipotesi di stato di deformazione piana, rottura generale, carichi verticali e centrati, piano di posa e piano di campagna orizzontali e terreno omogeneo. Nelle applicazioni queste limitazioni sono rimosse moltiplicando i tre termini a secondo membro per adatti coefficienti correttivi, ottenuti per via analitica o semi empirica. Diversi coefficienti possono essere

<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	138 di 161

usati contemporaneamente per tener conto di più di un fattore. Di seguito sono riportate le espressioni più accreditate di tali coefficienti. Tali espressioni si riferiscono al caso di sottosuolo omogeneo.

Fattore di forma: nel passare dalla condizione ideale di una striscia indefinita di carico (problema piano) ad una fondazione reale avente dimensioni (B trasversale e L longitudinale) in pianta confrontabili (problema tridimensionale), la capacità portante è influenzata dagli effetti di bordo, di cui si tiene conto con i fattori di forma.

Forma della fondazione	$s_c (> 1)$	$s_q (> 1)$	$s_\gamma (< 1)$
Rettangolare	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \varphi'$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$
Circolare o quadrata	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \tan \varphi'$	0,6

Fattori di inclinazione del carico: nel caso di carico inclinato con componente orizzontale H e componente verticale V, si introducono i fattori di inclinazione del carico (in relazione al rapporto H/V la rottura può avvenire anche per slittamento) che tengono conto della riduzione della resistenza a rottura del terreno di fondazione.

Terreno	$i_c (< 1)$	$i_q (< 1)$	$i_\gamma (< 1)$
$\phi = 0$ argilla satura in condizioni non drenate	$1 - \frac{m \cdot H}{B \cdot L \cdot c_u \cdot N_c}$	1	1
$c > 0, \phi > 0$ argilla in condizioni drenate	$i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$	$\left[ 1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \phi'} \right]^{m+1}$	$\left[ 1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \phi'} \right]^{m+1}$
$c = 0$ sabbia	-	$\left( 1 - \frac{H}{V} \right)^m$	$\left( 1 - \frac{H}{V} \right)^{m+1}$
$m = m_L \cdot \cos^2 \theta$ $+ m_B \cdot \sin^2 \theta$	$m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$	$m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$	$\theta$ è l'angolo fra la direzione del carico proiettata sul piano di fondazione e la direzione di L

Fattori di profondità: si utilizzano per mettere in conto anche la resistenza al taglio del terreno sopra il piano di fondazione, ovvero per considerare la superficie di scorrimento estesa fino al piano campagna.

Valore di $\phi$	$d_c (> 1)$	$d_q (> 1)$	$d_\gamma (= 1)$
$\phi = 0$ argilla satura in condizioni non drenate	$\frac{D}{B'} \leq 1$ $1 + 0,4 \cdot \frac{D}{B'}$	1	1
$\phi > 0$ sabbia e argilla in condizioni drenate	$\frac{D}{B'} > 1$ $1 + 0,4 \cdot \arctan \left( \frac{D}{B'} \right)$	$\frac{D}{B'} \leq 1$ $1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \frac{D}{B'}$	$\frac{D}{B'} > 1$ $1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \arctan \left( \frac{D}{B'} \right)$
	$d_q = \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi}$		

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	139 di 161

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione: se i carichi permanenti sono sensibilmente inclinati si può realizzare il piano di posa della fondazione con un'inclinazione  $\varepsilon$ . La capacità portante nella direzione ortogonale al piano di posa deve essere valutata utilizzando i fattori di inclinazione del piano di posa

$$\frac{b_c (< 1)}{b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \varphi}} \quad \frac{b_q (< 1)}{(1 - \varepsilon \cdot \tan \varphi)^2} \quad \frac{b_y (< 1)}{(1 - \varepsilon \cdot \tan \varphi)^2}$$

Fattori di inclinazione del terreno: se il piano campagna è inclinato di un angolo  $\omega$  rispetto all'orizzontale

$$\frac{g_c (< 1)}{g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \phi}} \quad \frac{g_q (< 1)}{(1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega} \quad \frac{g_y (< 1)}{\cos \omega}$$

Fattori di inerzia: in presenza di verifica in condizioni sismiche si considerano ulteriori fattori riduttivi pari a:

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot k_h$$

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \varphi}\right)^{0.35}$$

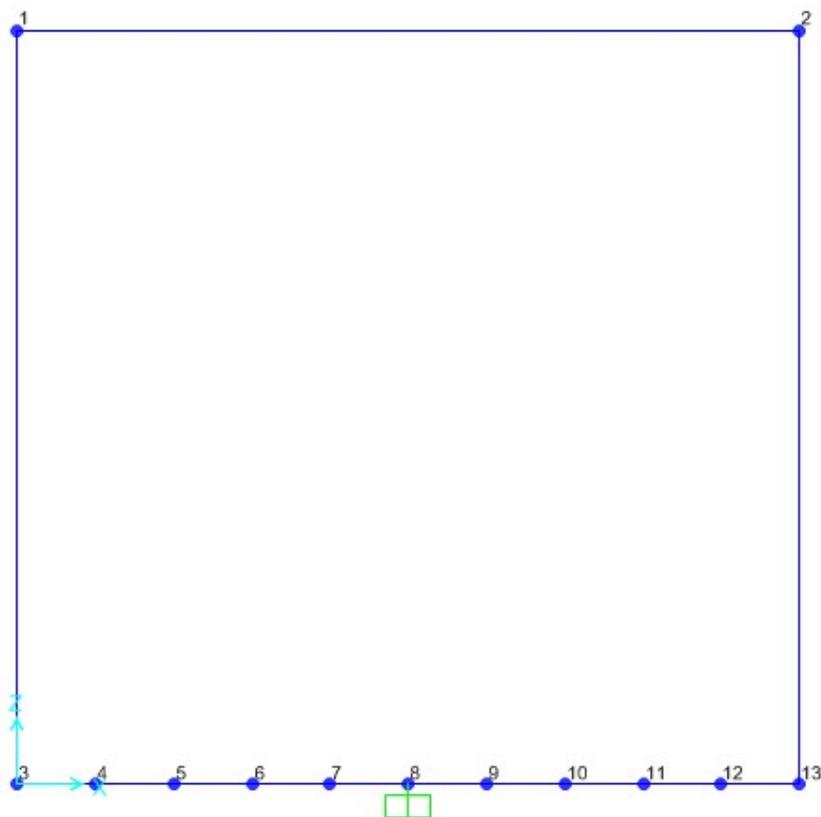
$$z_y = z_q$$

L'eccentricità del carico riduce la capacità portante di una fondazione superficiale. Nel caso di carico eccentrico si assume che l'area resistente a rottura sia quella per la quale il carico risulta centrato. Ad esempio per una fondazione a base rettangolare, se la risultante dei carichi trasmessi ha eccentricità  $e_B$  nella direzione del lato minore B ed eccentricità  $e_L$  nella direzione del lato maggiore L, per il calcolo della capacità portante si assume una fondazione rettangolare equivalente di dimensioni  $B^* \times L^*$ , dove:  $B^* = B - 2e_B$ ;  $L^* = L - 2e_L$ .

Per quanto riguarda il calcolo delle sollecitazioni da applicare sulla platea di fondazione, si prende il modello strutturale dello scatolare e si vincola questo con un incastro in corrispondenza del baricentro della struttura di fondazione.

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	140 di 161



Tab. 64 – Modello di calcolo per lo studio della struttura di fondazione

Dallo sviluppo dell'analisi si definiscono le reazioni vincolari verticali, orizzontali e di momento rispetto l'asse baricentrico della struttura di fondazione. Per la verifica geotecnica del sistema di fondazione, si riportano tali reazioni vincolari all'intradosso della fondazione, tenendo in conto per le reazioni di momento, della coppia di trasporto data dal prodotto tra la reazione vincolare orizzontale e metà spessore della soletta inferiore.

Nella tabella che segue si riportano le reazioni vincolari massime e minime verticali, le reazioni massime orizzontali e le reazioni massime di momento. Queste si determinano sia per le combinazioni statiche allo SLU, sia per le combinazioni sismiche allo SLV. Le combinazioni adottate sono le stesse prese a riferimento per le verifiche strutturali (Approccio A1+M1+R3).

<b>AZIONI ALL'INTRADOSSO DELLA FONDAZIONE</b>							
<b>Combinazione</b>		<b>Fx [kN]</b>	<b>Fy [kN]</b>	<b>Fz [kN]</b>	<b>Mx [kNm]</b>	<b>My [kNm]</b>	<b>Mz [kNm]</b>
<b>Comb. Nmax</b>	<b>01S1-11M</b>	<b>12.16</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>16.91</b>	<b>0.00</b>
<b>Comb. Nmin</b>	<b>07S1-14-</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>109.42</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Comb. Mx,max</b>	<b>01S1-11M</b>	<b>12.16</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>16.91</b>	<b>0.00</b>
<b>Comb. My,max</b>	<b>57S3-13M</b>	<b>89.04</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>82.77</b>	<b>0.00</b>
<b>Comb. Fx,max</b>	<b>57S3-13M</b>	<b>89.04</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>82.77</b>	<b>0.00</b>
<b>Comb. Fy,max</b>	<b>01S1-11M</b>	<b>12.16</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>16.91</b>	<b>0.00</b>

Tab. 65 – Combinazioni di verifica generali

Per la verifica della capacità portante verticale del sistema di fondazione si individuano le condizioni limite di verifica: massima reazione verticale e massimo momento. Mentre, per l'opera in oggetto, essendo completamente incassata nel terreno, si ritiene che la verifica a scorrimento si automaticamente soddisfatta, in quanto le eventuali azioni spingenti su un lato dello scatolare sono compensate dalle corrispondenti spinte passive sul lato opposto dello stesso. Nella tabella che segue si riportano in forma riassuntiva le reazioni vincolari prese a riferimento per lo studio della struttura di fondazione in condizioni statiche:

<b>AZIONI ALL'INTRADOSSO DELLA FONDAZIONE</b>							
<b>Combinazione</b>		<b>Fx [kN]</b>	<b>Fy [kN]</b>	<b>Fz [kN]</b>	<b>Mx [kNm]</b>	<b>My [kNm]</b>	<b>Mz [kNm]</b>
<b>Comb. Nmax</b>	<b>01S1-11M</b>	<b>12.16</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>16.91</b>	<b>0.00</b>
<b>Comb. My,max</b>	<b>57S3-13M</b>	<b>89.04</b>	<b>0.00</b>	<b>264.88</b>	<b>0.00</b>	<b>82.77</b>	<b>0.00</b>

Tab. 66 – Combinazioni di verifica

Nelle pagine a seguire si riportano la verifiche di capacità portante per entrambe le condizioni di carico.

Si riportano i valori dei coefficienti parziali utilizzati per le proprietà del terreno e le resistenze.

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni efficaci**

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

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

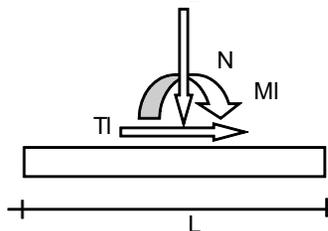
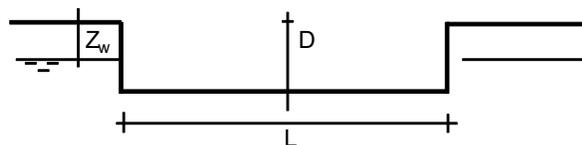
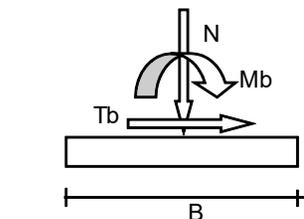
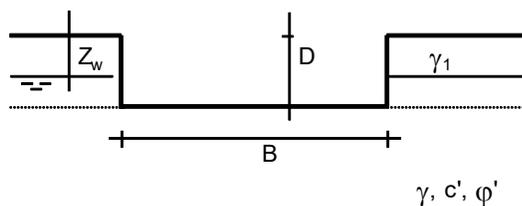
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

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

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	
Definiti dal Progettista	1.35	1.50	1.00	1.00	1.40	1.00	



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	143 di 161

**Mymax**

(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 1.74 (m)  
L = 13.00 (m)  
D = 2.36 (m)



$\beta_f = 0.00$  (°)



$\beta_p = 0.00$  (°)

**AZIONI**

	Valori di calcolo	
N [kN]	264.88	
Mb [kNm]	82.77	Mb=My
Ml [kNm]	0.00	Ml=Mx
Tb [kN]	89.04	Tb=Tx
Tl [kN]	0.00	Tl=Ty
H [kN]	89.04	

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 18.50$  (kN/mc)  
 $\gamma = 18.50$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\phi' = 27.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\phi' = 27.00$  (°)

*Profondità della falda*

Zw = 4.70 (m)

$e_B = 0.31$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 1.12$  (m)  
 $L^* = 13.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

q = 43.66 (kN/mq)

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

$\gamma = 18.50$  (kN/mc)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	144 di 161

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$$Nq = \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi)}$$

$$Nq = 13.20$$

$$Nc = (Nq - 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$Nc = 23.94$$

$$Ny = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$Ny = 14.47$$

**s<sub>z</sub>, s<sub>y</sub>, s<sub>x</sub> : fattori di forma**

$$s_z = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_z = 1.05$$

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

$$s_y = 1.04$$

$$s_x = 1 - 0.4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_x = 0.97$$

**i<sub>z</sub>, i<sub>y</sub>, i<sub>x</sub> : fattori di inclinazione del carico**

$$m_z = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.92 \quad \theta = \arctg(T_b / T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_y = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.08 \quad m = 1.92 \quad (-)$$

(m=2 nel caso di fondazione  
nastri forme e m=(m<sub>z</sub> sin<sup>2</sup>θ + m<sub>y</sub> cos<sup>2</sup>θ) in

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

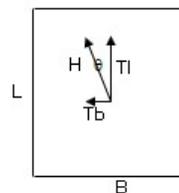
$$i_x = 0.62$$

$$i_z = i_x - (1 - i_x) / (Nq - 1)$$

$$i_z = 0.59$$

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

$$i_y = 0.49$$



RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	145 di 161

**$d_x, d_y, d_z$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

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

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

$$d_x = 1.34$$

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

$$d_x = 1.37$$

$$d_y = 1$$

$$d_z = 1.00$$

**$b_x, b_y, b_z$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_x = (1 - \beta_f \tan \phi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_x = 1.00$$

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

$$b_x = 1.00$$

$$b_y = b_x$$

$$b_z = 1.00$$

**$g_x, g_y, g_z$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_x = 1.00$$

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

$$g_x = 1.00$$

$$g_y = g_x$$

$$g_z = 1.00$$

***Carico limite unitario***

$$q_{lim} = 674.60 \quad (\text{kN/m}^2)$$

***Pressione massima agente***

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

$$q = 18.27 \quad (\text{kN/m}^2)$$

***Verifica di sicurezza capacità portante***

$$q_{lim} / \gamma_R = 293.31 \geq q = 18.27 \quad (\text{kN/m}^2)$$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	146 di 161

**Nmax**

(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 1.74 (m)  
L = 13.00 (m)  
D = 2.36 (m)



$\beta_f = 0.00$  (°)



$\beta_p = 0.00$  (°)

**AZIONI**

	Valori di calcolo	
N [kN]	264.88	
Mb [kNm]	16.91	Mb=My
MI [kNm]	0.00	MI=Mx
Tb [kN]	12.16	Tb=Tx
TI [kN]	0.00	TI=Ty
H [kN]	12.16	

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 18.50$  (kN/mc)  
 $\gamma = 18.50$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 27.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 27.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 4.70$  (m)

$e_B = 0.06$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 1.61$  (m)  
 $L^* = 13.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

q = 43.66 (kN/mq)

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

$\gamma = 18.50$  (kN/mc)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	147 di 161

**Nc, Nq, N<sub>γ</sub> : coefficienti di capacità portante**

$$Nq = \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi)}$$

$$Nq = 13.20$$

$$Nc = (Nq - 1) / \tan \varphi'$$

$$Nc = 23.94$$

$$N_{\gamma} = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_{\gamma} = 14.47$$

**s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>γ</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_c = 1.07$$

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

$$s_q = 1.06$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0.4 \cdot B / L$$

$$s_{\gamma} = 0.95$$

**i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>γ</sub> : fattori di inclinazione del carico**

$$m_q = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 1.89 \quad \theta = \arctg(Tb/Tl) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_{\gamma} = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 1.11 \quad m = 1.89 \quad (-)$$

(m=2 nel caso di fondazione  
nastri-forme e  $m = (m_q \sin^2 \theta + m_{\gamma} \cos^2 \theta)$  in

$$i_q = (1 - H(N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'))^m$$

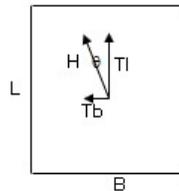
$$i_q = 0.95$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)(Nq - 1)$$

$$i_c = 0.95$$

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

$$i_{\gamma} = 0.93$$



RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	148 di 161

**$d_c, d_q, d_r$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 2 D \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 / B^*$   
per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + (2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2) * \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1.30$$

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

$$d_c = 1.32$$

$$d_r = 1$$

$$d_i = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_r$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_r \tan \phi')^2 \quad \beta_r + \beta_p = 0.00 \quad \beta_r + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_r = b_q$$

$$b_r = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_r$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_q = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_r = g_q$$

$$g_r = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1105.27 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 12.64 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 480.55 \geq q = 12.64 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Nella tabella che segue si riportano in forma riassuntiva le reazioni vincolari prese a riferimento per lo studio della struttura di fondazione in condizioni sismiche:

AZIONI ALL'INTRADOSSO DELLA FONDAZIONE							
Combinazione		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Comb. Nmax	73SSS3--	19.26	0.00	100.51	0.00	14.44	0.00
Comb. Nmin	82SSS12S	12.43	0.00	94.52	0.00	9.18	0.00
Comb. Mx,max	71SSS1--	26.17	0.00	99.37	0.00	21.17	0.00
Comb. My,max	71SSS1--	26.17	0.00	99.37	0.00	21.17	0.00
Comb. Fx,max	71SSS1--	26.17	0.00	99.37	0.00	21.17	0.00
Comb. Fy,max	71SSS1--	26.17	0.00	99.37	0.00	21.17	0.00

Tab. 67 – Combinazioni di verifica sismiche

AZIONI ALL'INTRADOSSO DELLA FONDAZIONE							
Combinazione		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Comb. Nmax	73SSS3--	19.26	0.00	100.51	0.00	14.44	0.00
Comb. Fx,max	71SSS1--	26.17	0.00	99.37	0.00	21.17	0.00

Tab. 68 – Combinazioni di verifica sismiche

Nelle pagine a seguire si riportano la verifiche di capacità portante per entrambe le condizioni di carico.

Si riportano i valori dei coefficienti parziali utilizzati per le proprietà del terreno e le resistenze.

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni efficaci**

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

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

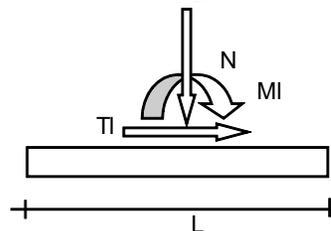
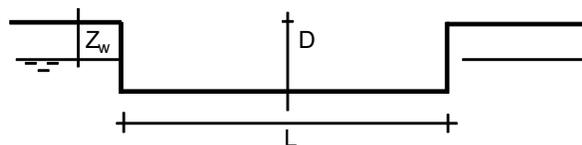
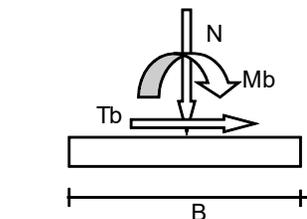
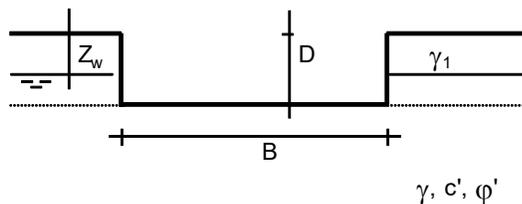
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

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

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	
Definiti dal Progettista	1.35	1.50	1.00	1.00	1.40	1.00	



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

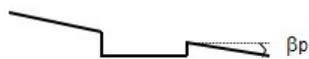
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	151 di 161

**Nmax**

(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 1.74 (m)  
L = 13.00 (m)  
D = 2.36 (m)

$\beta_f$   
 $\beta_f = 0.00$  (°)



$\beta_p$   
 $\beta_p = 0.00$  (°)

**AZIONI**

	Valori di calcolo	
N [kN]	100.51	
Mb [kNm]	14.44	Mb=My
MI [kNm]	0.00	MI=Mx
Tb [kN]	19.26	Tb=Tx
TI [kN]	0.00	TI=Ty
H [kN]	19.26	

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 18.50$  (kN/mc)  
 $\gamma = 18.50$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 27.00$  (°)

*Profondità della falda*

Zw = 4.70 (m)

$e_B = 0.14$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

*Valori di progetto*

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 27.00$  (°)  
kh = 0.21

$B^* = 1.45$  (m)  
 $L^* = 13.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

q = 43.66 (kN/mq)

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

$\gamma = 18.50$  (kN/mc)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	152 di 161

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$$Nq = \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi)}$$

$$Nq = 13.20$$

$$Nc = (Nq - 1) / \tan \varphi'$$

$$Nc = 23.94$$

$$Ny = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$Ny = 14.47$$

**s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>y</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_c = 1.06$$

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

$$s_q = 1.06$$

$$s_y = 1 - 0.4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_y = 0.96$$

**i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>y</sub> : fattori di inclinazione del carico**

$$m_0 = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.90 \quad \theta = \arctg(Tb/Tl) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_1 = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.10 \quad m = 1.90 \quad (-)$$

(m=2 nel caso di fondazione  
nastriforme e m=(m<sub>0</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>1</sub>cos<sup>2</sup>θ) in

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

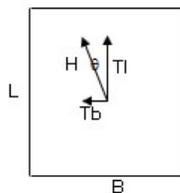
$$i_q = 0.88$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)(Nq - 1)$$

$$i_c = 0.87$$

$$i_y = (1 - H(N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_y = 0.82$$



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	153 di 161

**$d_c, d_q, d_r$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

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

$$d_q = 1.31$$

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

$$d_c = 1.33$$

$$d_r = 1$$

$$d_r = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_r$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

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

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_r = b_q$$

$$b_r = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_r$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_q = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_r = g_q$$

$$g_r = 1.00$$

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	154 di 161

$z_e, z_q, z_T$  : **fattori di correzioni sismiche secondo PAOLUCCI & PECKER**

$$z_q = (1 - kh \tan \beta_s)^{0,35}$$

$$z_q = 0.83$$

$$z_e = (1 - 0,32k_s)$$

$$z_e = 0.93$$

$$z_T = z_q$$

$$z_T = 0.83$$

***Carico limite unitario***

$$q_{lim} = 852.96 \quad (\text{kNm}^2)$$

***Pressione massima agente***

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

$$q = 5.32 \quad (\text{kNm}^2)$$

***Verifica di sicurezza capacità portante***

$$q_{lim} / \gamma_R = 370.85 \geq q = 5.32 \quad (\text{kNm}^2)$$

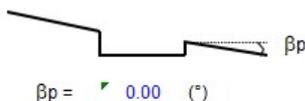
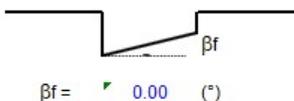
**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	155 di 161

**Mymax**

(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 1.74 (m)  
L = 13.00 (m)  
D = 2.36 (m)



**AZIONI**

	Valori di calcolo	
N [kN]	99.37	
Mb [kNm]	21.17	Mb=My
Ml [kNm]	0.00	Ml=Mx
Tb [kN]	26.17	Tb=Tx
Tl [kN]	0.00	Tl=Ty
H [kN]	26.17	

**Peso unità di volume del terreno**

$\gamma_1 = 18.50$  (kN/mc)  
 $\gamma = 18.50$  (kN/mc)

**Valori caratteristici di resistenza del terreno**

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\phi' = 27.00$  (°)

**Profondità della falda**

Zw = 4.70 (m)

$e_B = 0.21$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

**Valori di progetto**

$c' = 5.00$  (kN/mq)  
 $\phi' = 27.00$  (°)  
kh = 0.21

$B^* = 1.31$  (m)  
 $L^* = 13.00$  (m)

**q: sovraccarico alla profondità D**

q = 43.66 (kN/mq)

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

$\gamma = 18.50$  (kN/mc)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	156 di 161

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$$Nq = \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi)}$$

$$Nq = 13.20$$

$$Nc = (Nq - 1) / \tan \varphi'$$

$$Nc = 23.94$$

$$Ny = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$Ny = 14.47$$

**s<sub>x</sub>, s<sub>y</sub>, s<sub>z</sub> : fattori di forma**

$$s_x = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_x = 1.06$$

$$s_y = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_y = 1.05$$

$$s_z = 1 - 0.4 \cdot B / L$$

$$s_z = 0.96$$

**i<sub>x</sub>, i<sub>y</sub>, i<sub>z</sub> : fattori di inclinazione del carico**

$$m_x = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 1.91 \quad \theta = \arctg(Tb/Tl) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_y = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 1.09 \quad m = 1.91 \quad (-)$$

(m=2 nel caso di fondazione  
nastri forme e m=(m<sub>x</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>y</sub>cos<sup>2</sup>θ) in

$$i_x = (1 - H(N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'))^m$$

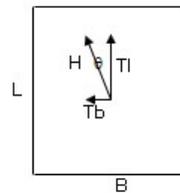
$$i_x = 0.82$$

$$i_z = i_x - (1 - i_x) / (Nq - 1)$$

$$i_z = 0.81$$

$$i_y = (1 - H(N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_y = 0.74$$



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	157 di 161

**$d_c, d_q, d_r$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

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

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

$$d_q = 1.32$$

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

$$d_c = 1.35$$

$$d_r = 1$$

$$d_r = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_r$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_r \tan \phi')^2 \quad \beta_r + \beta_p = 0.00 \quad \beta_r + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_r = b_q$$

$$b_r = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_r$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_q = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_r = g_q$$

$$g_r = 1.00$$

**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	158 di 161

$z_e, z_q, z_T$ : **fattori di correzioni sismiche secondo PAOLUCCI & PECKER**

$$z_q = (1 - k_h \tan \beta_s)^{0,35}$$

$$z_q = 0.83$$

$$z_e = (1 - 0,32k_h)$$

$$z_e = 0.93$$

$$z_T = z_q$$

$$z_T = 0.83$$

***Carico limite unitario***

$$q_{lim} = 920.96 \quad (\text{kNm}^2)$$

***Pressione massima agente***

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

$$q = 5.82 \quad (\text{kNm}^2)$$

***Verifica di sicurezza capacità portante***

$$q_{lim} / \gamma_R = 400.42 \geq q = 5.82 \quad (\text{kNm}^2)$$

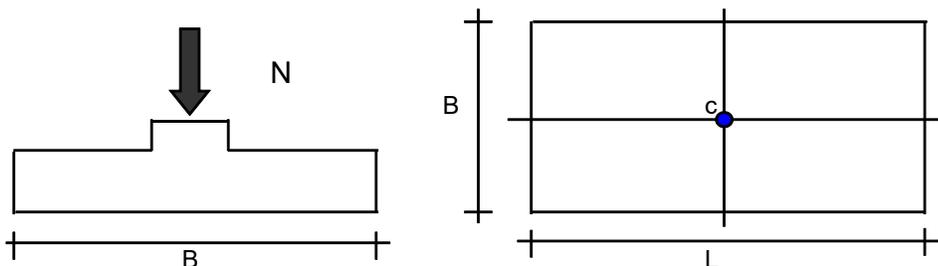
### 10.1.2 Verifica dei cedimenti

STRATO D (E=8000-10000 kN/m <sup>2</sup> )				
z (profondità fondazione)	E	z (profondità strato cedimento)	E medio	
m	kN/m <sup>2</sup>	m	kN/m <sup>2</sup>	
0.00	9000	1.50	9000	
0.00	9000	1.50	9000	
STRATO B (E=35000-70000 kN/m <sup>2</sup> )				
z (profondità)	E	E medio		
m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		
1.5	47500	52500		
14.5	57500			

Si riporta la verifica dei cedimenti della fondazione in corrispondenza del massimo sforzo normale agente.

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE RETTANGOLARE

#### LAVORO:



**RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	160 di 161

**Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)**

$$\Delta\sigma_{zi} = (q/2\pi) * (\tan^{-1}((L/2)(B/2)/(zR_3)) + ((L/2)(B/2)z/R_3)(1/R_1^2 + 1/R_2^2))$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (q/2\pi) * (\tan^{-1}((L/2)(B/2)/(zR_3)) - ((L/2)(B/2)z/R_3R_1^2))$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (q/2\pi) * (\tan^{-1}((L/2)(B/2)/(zR_3)) - ((L/2)(B/2)z/R_3R_2^2))$$

$$R1 = ((L/2)^2 + z^2)^{0.5}$$

$$R2 = ((B/2)^2 + z^2)^{0.5}$$

$$R3 = ((L/2)^2 + (B/2)^2 + z^2)^{0.5}$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_{zi} - v_i(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi}))\Delta z_i / E_i)$$

**DATI DI INPUT:**

B = 1.74 (m) (Larghezza della Fondazione)

L = 13.00 (m) (Lunghezza della Fondazione)

N = 185 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 8.16 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/(B\*L)))

ns = 2 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1	STRATO D	1.50	0.0	1.5	1.0	9000	0.30	0.05
2	STRATO B	13.00	1.5	14.5	1.0	47500	0.30	0.09
-			0.0	0.0				-
-			0.0	0.0				-
-			0.0	0.0				-
-			0.0	0.0				-

$$\delta_{ctot} = 0.14 \text{ (cm)}$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA FERROVIARIA TORINO - VENEZIA.</b> <b>TRATTA TORINO - MILANO.</b> <b>NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO</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>NMOY</td> <td>00 D 11</td> <td>CL</td> <td>RI0003 001</td> <td>A</td> <td>161 di 161</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	161 di 161
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOY	00 D 11	CL	RI0003 001	A	161 di 161								

## 11. INCIDENZA

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

Piedritti	<b>60 kg/mc</b>
Soletta superiore	<b>80 kg/mc</b>
Soletta inferiore	<b>80 kg/mc</b>

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un' armatura longitudinale diffusa  $\phi 14/20$  ed un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature e spille.

## 12. CONCLUSIONI

Con la presente relazione si è proceduto al progetto e alla verifica del tombino ferroviario alla progressiva 67+112.148.

Le verifiche strutturali e geotecniche rispettano le indicazioni delle Normative tecniche di riferimento.