

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



**LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA**

**TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**S.O PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA  
LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA**

IN-TOMBINI FERROVIARI

Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500

SCALA:

-

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

RS6K 00 R 78 CL IN0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	A. Totaro	Agosto 2022	M. B. Di Prima	Agosto 2022	P. Mosca	Agosto 2022	F. Sacchi

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Divisione Infrastrutture  
S.O. Progettazione Integrata Sud Engineering  
Dott. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri n. 23172/06

## INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	7
3	MATERIALI.....	8
3.1	CALCESTRUZZO MAGRONE.....	8
3.2	CALCESTRUZZO .....	8
3.3	ACCIAIO B450C.....	9
3.4	VERIFICHE .....	9
3.4.1	<i>Verifiche S.L.U.</i> .....	9
3.4.2	<i>Verifiche S.L.E.</i> .....	9
3.4.2.1	<i>Verifiche alle tensioni</i> .....	10
3.4.2.2	<i>Verifiche a fessurazione</i> .....	10
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	12
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE .....	12
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	13
5.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	13
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	13
6	SOFTWARE DI CALCOLO .....	17
6.1	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO ADOTTATI.....	17
6.2	UNITÀ DI MISURA .....	17
6.3	GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE .....	17
6.4	VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZZA DEL MODELLO.....	17
6.5	CARATTERISTICHE DELL'ELABORAZIONE .....	18

6.6	GIUDIZIO FINALE SULLA ACCETTABILITÀ DEI CALCOLI .....	18
6.7	PROGRAMMI DI SERVIZIO .....	18
7	COMBINAZIONI DI CARICO .....	19
8	VERIFICA .....	24
8.1	GEOMETRIA .....	24
8.2	MODELLO DI CALCOLO .....	25
8.2.1	<i>Valutazione della rigidezza delle molle</i> .....	25
8.3	ANALISI DEI CARICHI .....	27
8.3.1	<i>Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati</i> .....	27
8.3.2	<i>Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente</i> .....	28
8.3.3	<i>Treni di carico</i> .....	28
8.3.4	<i>Spinta del terreno indotta dai treni di carico</i> .....	30
8.3.5	<i>Avviamento e frenatura</i> .....	32
8.3.6	<i>Serpeggio e centrifuga</i> .....	32
8.3.7	<i>Ritiro differenziale della soletta di copertura</i> .....	32
8.3.8	<i>Azione Termica</i> .....	35
8.3.9	<i>Azione sismica inerziale</i> .....	35
8.4	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI .....	37
8.5	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A. ....	41
8.5.1	<i>Verifica soletta inferiore</i> .....	42
8.5.2	<i>Verifica soletta superiore</i> .....	46
8.5.3	<i>Verifica piedritti</i> .....	50

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	4 di 59

8.5.4	Tabella riassuntiva armature.....	54
8.5.5	Tabella incidenza armature .....	54
8.6	VERIFICA FONDAZIONE .....	55
8.6.1	Verifica portanza.....	55

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto il dimensionamento e le verifiche di resistenza, secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.), del tombino tipologico phi 1500 nell'ambito del progetto di ripristino Tratta Caltagirone – Gela Lotto 2: ripristino Tratta Niscemi - Gela.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018, in accordo con i MdP di RFI.

L'opera è stata scelta come tipologica dei seguenti tombini:

pk storica Tombino	pk progetto Tombino	Dimensione opera	Quota piano ferro di progetto	Lunghezza (*)	Pendenza	Quota scorrimento ingresso	Quota di scorrimento uscita	Ricoprimento massimo	Volume di scavo (**)
pk 340+598	pk 340+580	1,50	231,21	5,00	0,007	228,61	228,58	0,60	130,50
pk 342+329	pk 342+310	1,50	203,97	8,00	0,005	201,37	201,33	0,60	209,51
pk 342+506	pk 342+483	1,50	201,21	5,50	0,005	198,61	198,58	0,60	142,81
pk 342+577	pk 342+589	1,50	199,30	7,00	0,005	196,70	196,67	0,60	182,70
pk 354+557	pk 354+540	1,50	23,10	13,00	0,005	20,50	20,43	0,60	346,28

L'opera consiste in uno scatolare in c.a. gettato in opera. La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 1.50$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 1.50$  m; lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.30$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.30$  m.

Nell'immagine seguente si riportano una sezione longitudinale e trasversale dell'opera.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.

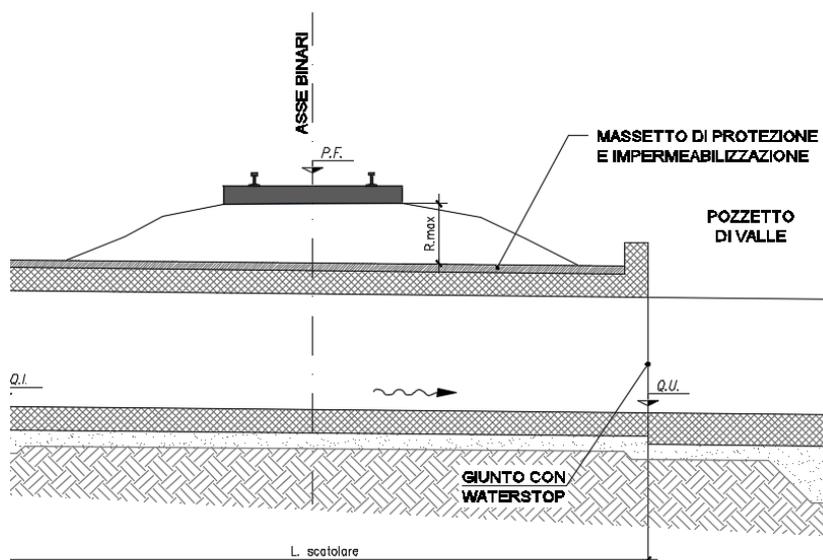


Fig. 1 – Sezione longitudinale

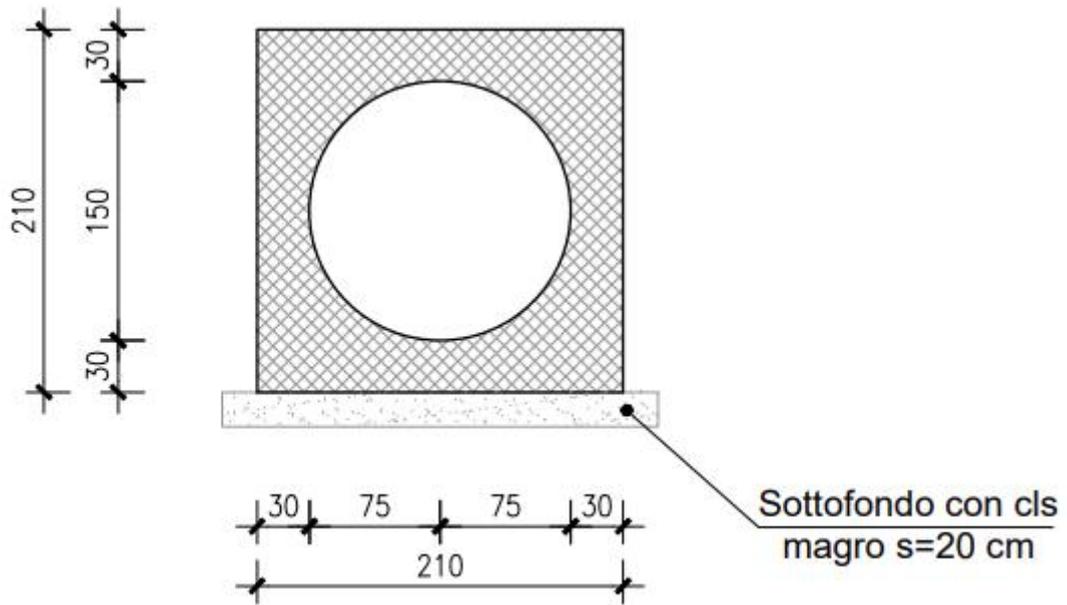


Fig. 2 – Sezione trasversale

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018;
- Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- C.M. 21/01/2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 D del 2021: Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture;
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 D del 2021: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;
- UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-2:2007: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;
- STI 2014 –Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

### 3 MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo magrone

##### Conglomerato classe di resistenza *C12/15 – Rck 15MPa*

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

#### 3.2 Calcestruzzo

Per le strutture in elevazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XA1 – XC3

**C30/37:**  $f_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$   $R_{ck} \geq 37 \text{ MPa}$

Classe minima di consistenza: S3-S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>37</b>	$\text{N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	30.71	$\text{N/mm}^2$
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	38.71	$\text{N/mm}^2$
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	20.47	$\text{N/mm}^2$
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	17.40	$\text{N/mm}^2$
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	2.94	$\text{N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2.06	$\text{N/mm}^2$
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,53	$\text{N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,37	$\text{N/mm}^2$
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33019	$\text{N/mm}^2$

 <b>ITOLFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

### 3.3 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450 \text{ MPa};$
Tensione di progetto:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$
in cui $\gamma_m = 1.15$	$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa};$
Modulo Elastico	$E_s = 210'000 \text{ MPa}.$

### 3.4 Verifiche

#### 3.4.1 Verifiche S.L.U.

La verifica nei confronti degli Stati limite ultimi viene condotta secondo le indicazioni delle normative vigenti (NTC 2018 e RFI DTC SI PS MA IFS 001 E) per le strutture non dissipative in condizioni sismiche.

In particolare nel cap. 7 delle NTC 2018 viene esplicitato che *“per le strutture a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature va calcolata con riferimento al comportamento elastico o sostanzialmente elastico”* (§7.3.6.1) e inoltre *“la capacità delle membrature deve essere valutata con le regole di cui al §4.1, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che in nessuna sezione si superi il momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico, come definito al §4.1.2.3.4.2”* (§7.4.1).

Di conseguenza, la verifica delle strutture non dissipative va differenziata tra campo statico (SLU) e sismico (SLV).

In condizioni statiche (SLU) il momento resistente di progetto è pari al momento resistente massimo della sezione in campo plastico  $M_{Rd} = M_{ud}$ .

In condizioni sismiche (SLV) il momento resistente di progetto è pari al momento resistente massimo della sezione in campo sostanzialmente elastico  $M_{Rd} = M_{yd}$  con

$$M_{yd} = \min(M_{yd, \text{acciaio}}; M_{yd, \text{cls}})$$

Dove:

- $M_{yd, \text{acciaio}} = M_{Rd} (\epsilon_s, \max = \epsilon_s, yd)$  è il momento resistente calcolato limitando  $\epsilon_s$  allo snervamento dell'armatura tesa ( $\epsilon_s, yd$ );
- $M_{yd, \text{cls}} = M_{Rd} (\epsilon_c, \max = \epsilon_c, 2)$  è il momento resistente calcolato limitando  $\epsilon_c$  a  $\epsilon_c, 2$  (0,2%).

#### 3.4.2 Verifiche S.L.E.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

### 3.4.2.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "RFI DTC SI MA IFS 001 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili", ovvero:

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

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

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

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

### 3.4.2.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

**Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali**

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w <sub>1</sub>

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

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

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “*Manuale di Progettazione delle Opere Civili*” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 17.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l’apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$- \text{ Combinazione Caratteristica (Rara)} \quad \delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del D.M. 17.1.2018, in accordo a quanto previsto al punto ” C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione” della Circolare n.7/19.

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	12 di 59

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 4.1 Terreno di fondazione

Si riportano le caratteristiche del terreno di fondazione:

Unità	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$f'_{picco}$ [°]	$f'_{cv}$ [°]	$C_u$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$E_{op}$ [MPa]
Qcs1	19.5	0-5	33-37	30-32	-	250-340	110-220	25-50

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018.

### 5.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 50$  anni. Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe II a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_U = 1.0$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 50 \times 1.0 = 50.0$  **anni**

### 5.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo C

Per l'individuazione dei parametri di pericolosità sismica, del caso in esame, è stato consultato il sito <https://www.acca.it/edilus-ms/>. Si riportano di seguito le immagini relative alla definizione dello spettro di risposta elastico.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

Elaborazioni grafiche

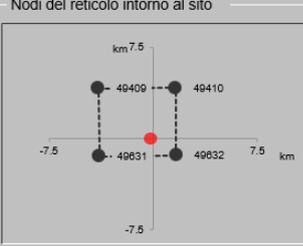
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

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

Interpolazione:

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".

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	SLD - $P_{VR} = 81\%$	30
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	50
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	475
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	975

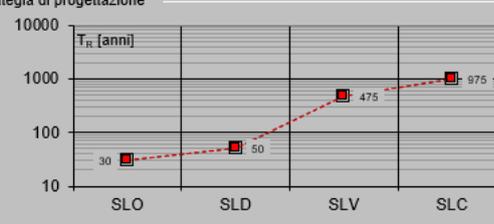
Elaborazioni

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

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

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato: **SLV** info

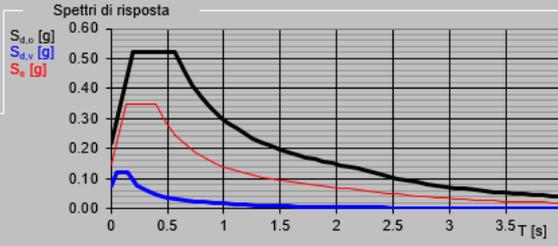
**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo: **C** info  $S_S = 1.490$   $C_C = 1.422$  info  
 Categoria topografica: **T1** info  $H/H_0 = 1.000$   $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%): **5**  $\eta = 1.000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$ : **1** Regol. in altezza: **sì** info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto Fattore  $q_v$ : **15**  $\eta = 0.667$  info

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

**Spettri di risposta**



$S_{d,0}$  [g]  
 $S_{d,v}$  [g]  
 $S_e$  [g]

— 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

### Parametri indipendenti

<b>STATO LIMITE</b>	SLV
$a_d$	0.148 g
$F_{q_0}$	2.372
$T_{C^*}$	0.399 s
$S_S$	1.490
$C_C$	1.422
$S_T$	1.000
$q$	1.000

### Parametri dipendenti

$S$	1.490
$\eta$	1.000
$T_B$	0.189 s
$T_C$	0.567 s
$T_D$	2.191 s

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>16 di 59</b>

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudo statico, si eseguirà un calcolo elastico assumendo un fattore di struttura unitario. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

## 6 SOFTWARE DI CALCOLO

### 6.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo adottati

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il Sap 2000 v.22.2 prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures, Inc.1995 University Ave. Berkeley. Questa procedura è sviluppata in ambiente Windows, permette l'analisi elastica lineare e non di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono frame (trave), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi sono applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una vasta serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

Tale programma fornisce in output, oltre a tutte le caratteristiche geometriche e di carico delle strutture, i risultati relativi alle sollecitazioni indotte nelle sezioni degli elementi presenti.

### 6.2 Unità di misura

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi
- angoli: gradi sessadecimali o radianti
- si assume l'uguaglianza  $1 \text{ kN} = 100 \text{ kg}$

### 6.3 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo e' garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto. E' possibile inoltre ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura.

### 6.4 Valutazione della correttezza del modello

Il modello di calcolo adottato e' da ritenersi appropriato in quanto non sono state riscontrate labilità, le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati, la simmetria di carichi e struttura dà origine a sollecitazioni simmetriche.

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>18 di 59</b>

### 6.5 Caratteristiche dell'elaborazione

Tutte le analisi strutturali sono state eseguite su di una workstation dedicata avente le seguenti

caratteristiche tecniche:

- Tipo Intel i7
- Memoria centrale 8 Gb;
- Lunghezza in bit della parola 64 bit;
- Memoria di massa 1 Hard disk da 500 Gb.

### 6.6 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli

Si ritiene che i risultati ottenuti dalla elaborazione siano accettabili e che le ipotesi poste alla base della formulazione del modello matematico siano valide come dimostrato dal comportamento dei materiali.

All'interno del pacchetto Sap 2000 sono inoltre presente una serie di test per il benchmark del solutore, che consentono di comprovare l'affidabilità del codice di calcolo e paragonare risultati ottenuti con le soluzioni esatte.

### 6.7 Programmi di servizio

Per le verifiche delle sezioni si adotta il programma: "RC-SEC" – Autore GEOSTRU Software.

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

## 7 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

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

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

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

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

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

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

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

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

In particolare, nel calcolo dello scatolare, si è fatto riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (Approccio 2) per le verifiche strutturali e geotecniche.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

**Tabella 5.2.V** – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica (da DM 17/01/2018)

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

- (1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
- (2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
- (3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
- (4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
- (5) Aliquota di carico da traffico da considerare.
- (6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
- (7) 1,20 per effetti locali

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (da DM 17/01/2018)

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
	$g_{T1}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$g_{T2}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$g_{T3}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_{T4}$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

- (1) 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  
 (2) Quando come azioni 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.

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente  $\psi_2 = 0.2$  (punto 3.2.4 del DM 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Tabella 5.2.VII delle NTC 2018 - 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>(3)</sup>	(1)	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>(3)</sup>	-	-
	Centrifuga	(2) (3)	(2)	(2)
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0

- (1) 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.  
 (2) Si usano gli stessi coefficienti  $\psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni.  
 (3) 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.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

**Tabella 2 – Riepilogo condizioni di carico**

Tipo Carico	Abbreviazione
Peso proprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM
Falda	FALDA
Spinta terreno sinistra	STS
Spinta terreno destra	STD
Carico Ferroviario Centrato	TRM
Carico Ferroviario Laterale	TRV
Sovraccarico accidentale sinistra	SAS
Sovraccarico accidentale destra	SAD
Traffico Stradale	TRAF
Ritiro	RIT
Variazione termica	$\Delta T$
Avviamento e frenatura	AVV
Azione sismica orizzontale	$E_H$
Azione sismica verticale	$E_V$

Si riportano di seguito le combinazioni di carico ritenute più significative con i coefficienti di combinazione  $\gamma \cdot \psi$ . Essendo la struttura simmetrica, si adottano tipologie di combinazione asimmetriche in modo da massimizzare le sollecitazioni. Il dimensionamento delle armature e le verifiche strutturali verranno poi eseguite tenendo conto della simmetria e verificando le condizioni peggiori per ogni lato della struttura.

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	23 di 59

**Tabella 3 - Combinazioni di carico**

COMB	DEAD	STS	STD	RIT	ΔT	PERM	FALDA	TRM	TRV	SAS	SAD	TRAF	AVV	E <sub>H</sub>	E <sub>V</sub>
n° 1 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 2 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 3 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 04 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 05 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 06 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 07 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45	-	1.45	-	-
n° 08 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45	-	1.45	-	-
n° 09 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45	-	1.45	-	-
n° 10 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45	-	-
n° 11 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45	-	-
n° 12 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45	-	-
n° 13 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 14 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 15 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 16 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
n° 17 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	-0.30
n° 18 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
n° 19 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	-0.30
GEO	1.00	1.30	1.00	1.00	0.60	1.30	1.00	1.25	-	1.25	-	-	1.25	-	-
GEO - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
SLE - Q.P.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.00	-	0.00	-	-	0.00	-	-
SLE - Frequente	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.80	-	0.80	-	-	0.80	-	-
SLE - Rara	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-	1.00	-	-

## 8 VERIFICA

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 1.50$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 1.50$  m; lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.30$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.30$  m.

Nel seguito sarà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

### 8.1 Geometria

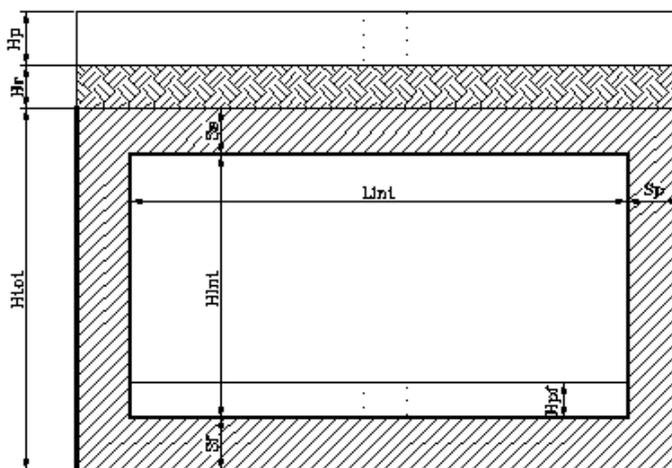


Fig. 3 – Significato dei simboli

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	2.10	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	1.50	m
larghezza interasse	$L_a$	1.80	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.30	m
spessore piedritti	$S_p$	0.30	m
spessore fondazione	$S_f$	0.30	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	2.10	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	1.50	m
spessore ballast	$H_{Psup}$	0.85	m
ricoprimento	$H_{Rsup}$	0.00	m
spessore pacchetto interno	$H_{Pinf}$		m
spessore ricoprimento interno	$H_{Rinf}$		m

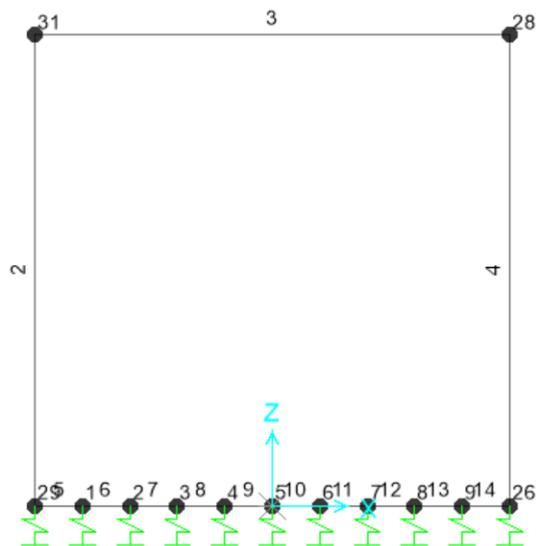
 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

## 8.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello del telaio incastrato alla base.

Il modello considerato per l'analisi è quello di uno scatolare di profondità unitaria (1.00 m) soggetto alle azioni da traffico di norma e quelle permanenti. In corrispondenza dei vertici dello scatolare sono state inserite delle zone rigide pari a metà spessore degli elementi.

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



**Fig. 4** – Numerazione aste e nodi

### 8.2.1 Valutazione della rigidezza delle molle

Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di “linear spring” pari a  $K= 8000 \text{ kN/mc}$  in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

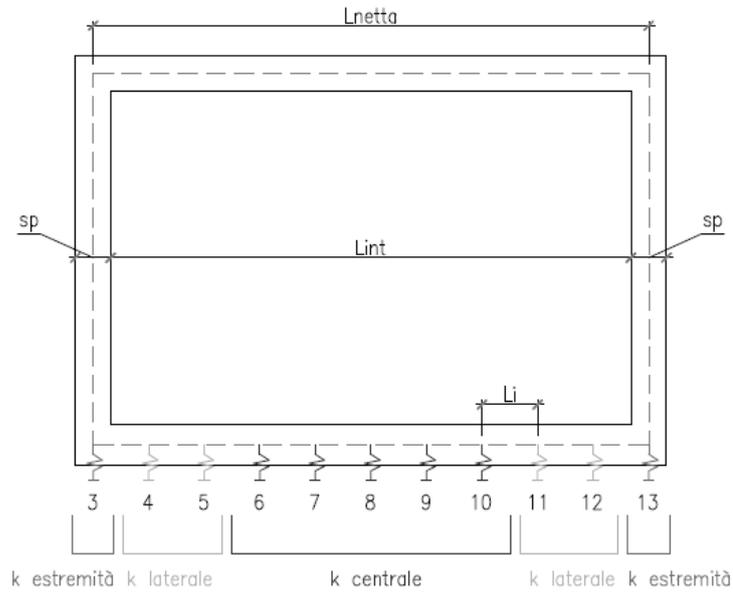
Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

Molle laterali  $k_3 = 2 * k *(i/2 + S_p/2)$  [kN/m]

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	26 di 59



	i	0.18	m
Molle centrali	1620	$\text{kN/m}^3$	
Molle laterali	2430	$\text{kN/m}^3$	
Molle estremità	4320	$\text{kN/m}^3$	

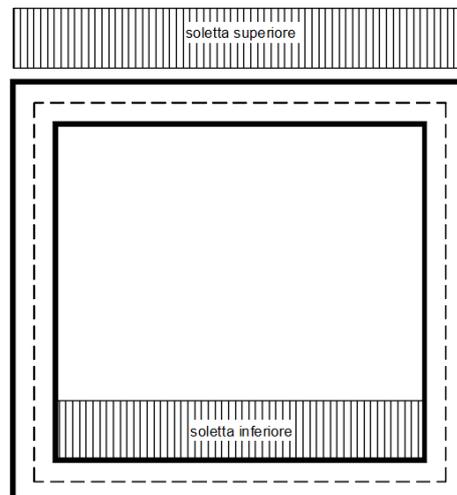
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA RS6K	LOTTO 00R78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000001	REV. A

### 8.3 Analisi dei carichi

#### 8.3.1 *Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati*

In riferimento al Manuale sez III §3.5.2.3.3 si ha:

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	7.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>7.50 kN/m</b>
	- Peso Ballast	15.30 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 0 cm	0.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>15.30 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	7.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>7.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	7.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>7.50 kN/m</b>



**Fig. 5** – Schema tipo carichi permanenti



$\alpha$  = coefficiente di adattamento = 1.10

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al "Manuale di Progettazione delle Opere Civili"  
Considerando un ridotto standard manutentivo si ha:

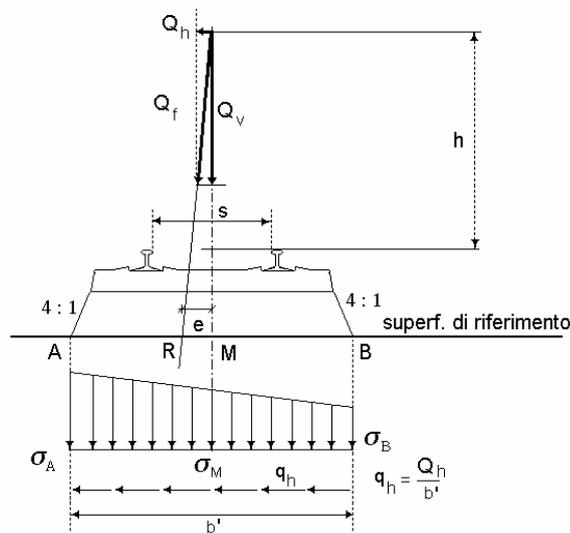
$$L_{\Phi} = 1.3 * [(1/3) * (2 * H_{tot} + L_{tot})] = 2.73 \text{ m}$$

$$\Phi_3 = [2.16 / (L_{\Phi}^{0.5} - 0.2)] + 0.73 = 1.35$$

In riferimento al Manuale sez II §2.5.1.4.1.4 e §2.5.1.4.1.5 si ha:

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_{trav} = 2.4 + [0.35/4 + H_{rsup} * \tan(38^\circ) + S_s/2] * 2 = 2.88 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{long} = 5.28$  m.

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

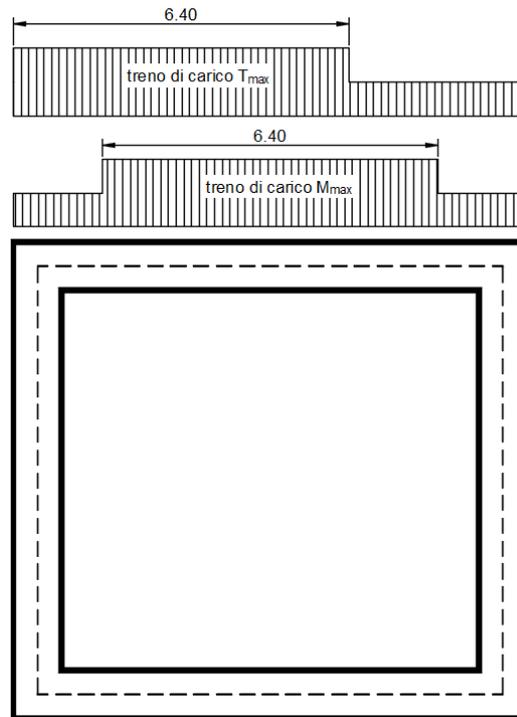
$$= 4 * 250 * 1.1 * \Phi_3 / (L_{trav} * L_{long}) = 97.92 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

$$= 80 * 1.1 * \phi^3 / L_{\text{trasv}} = 41.32 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti.



**Fig. 8** – Schema tipo carichi mobili soletta superiore

Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 14.69 kN.

#### 8.3.4 Spinta del terreno indotta dai treni di carico

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dell'opera, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

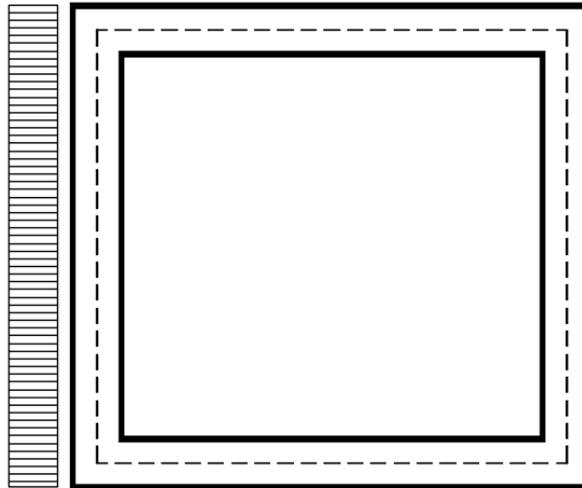
Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 37.63 \text{ kN/m}^2$$

La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

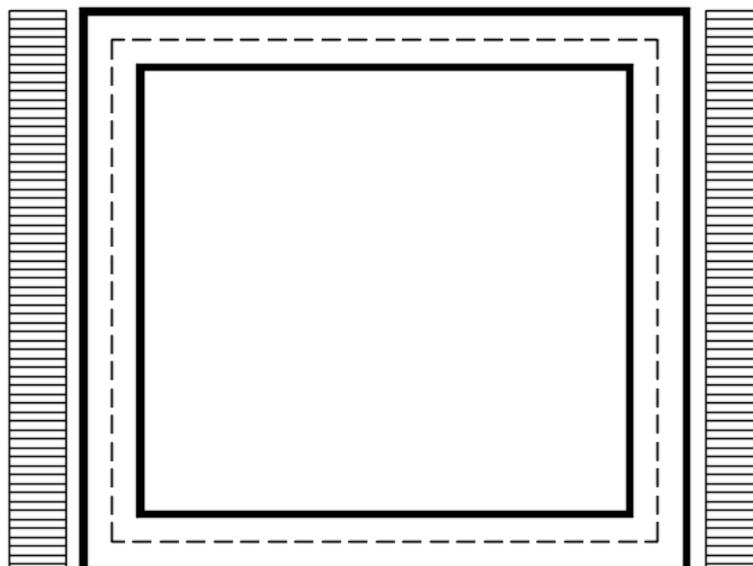
a) Spinta sul piedritto sinistro



**Fig. 9** – Schema tipo spinta carico accidentale su parete sinistra

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 5.65 kN ed inferiore con valore pari a 5.65 kN.

b) Spinta su entrambi i piedritti



**Fig. 10** – Schema tipo spinta carico accidentale su entrambi le pareti

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 5.65 kN ed inferiore con valore pari a 5.65 kN.

### 8.3.5 Avviamento e frenatura

avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[m] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[m] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 12.6 \text{ kN/m}$$

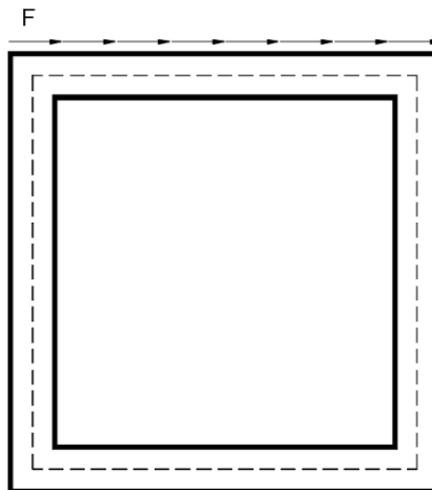


Fig. 11 – Schema tipo azione di frenatura sulla soletta superiore

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 1.89 kN.

### 8.3.6 Serpeggio e centrifuga

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

### 8.3.7 Ritiro differenziale della soletta di copertura

Si considera una variazione termica uniforme equivalente sulla soletta superiore come da calcolo seguente. Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni dell'EUROCODICE 2-UNI EN1992-1-1 Novembre 2005 e DM 17-01-2018.

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	33 di 59

Clc a t=0

$$R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cubica caratteristica

$$f_{ck} = 29.05 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica

$$f_{cm} = 37.05 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cilindrica media

$$\alpha = 1.0E-05$$

$$E_{cm} = 32588 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico secante medio

cls tipo **R**

classe del cemento

Tempo e ambiente

$$t_s = 2 \text{ gg}$$

età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento

$$t_0 = 2 \text{ gg}$$

età del calcestruzzo in giorni al momento del carico

$$t = 25550 \text{ gg}$$

età del calcestruzzo in giorni

$$h_0 = 2A_c/u = 600 \text{ mm}$$

dimensione fittizia dell'elemento di cls

$$A_c = 300000 \text{ mm}^2$$

sezione dell'elemento

$$u = 1000 \text{ mm}$$

perimetro a contatto con l'atmosfera

$$RH = 75 \%$$

umidità relativa percentuale

Coefficiente di viscosità  $\phi(t, t_0)$  e modulo elastico  $EC_t$  a tempo "t"

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) =$$

2.261 coeff. di viscosità

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$$

2.297 coeff nominale di viscosità

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 =$$

1.282 coeff che tiene conto dell'umidità

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} =$$

0.961 coeff per la resistenza del cls

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} =$$

0.989 coeff per la resistenza del cls

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$$

2.760 coeff che tiene conto della resistenza del cls

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$$

0.649 coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo

$$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$$

6.19 coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo

$$\alpha =$$

**1**

coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	34 di 59

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0.3} = 0.984 \text{ coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35\text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35\text{MPa} \end{cases} = 0.972 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

**Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:**

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 9992588 \text{ kN/m}^2$$

**Deformazioni di ritiro**

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000353 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{ca,0} = 0.000305 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.978$$

 $K_h =$ 
**0.7**

 parametro che dipende da  $h_0$  secondo il prospetto seguente

 Valori di  $k_h$ 

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

 Valori di  $K_h$  intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{ca,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.00044592$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 0.896094$$

$f_{cm0} = 10 \text{ Mpa}$

$RH0 = 100 \%$

$\alpha_{ds1} = 6$

coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)

$\alpha_{ds2} = 0.11$

coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000048 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000048$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -10.82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

### 8.3.8 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C, in riferimento al Manuale sez III §3.12.1.2.2 possono essere trascurati gli effetti dovuti alle variazioni termiche per ricoprimenti superiori a 1.50m.

### 8.3.9 Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:  $k_h = a_{max}/g$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 50$  anni ed una classe d'uso II  $C_u = 1.0$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 50.0$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.148$  g.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S * a = S_s * S_t * a_g$$

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito si ottiene:

$S_s = 1.490$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$  Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.490 * 1 * 0.148 \text{ g} = 0.221 \text{ g}$$

$$k_h = a_{max}/g = 0.221$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
	<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO <b>00R78</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000001</b>	REV. <b>A</b>

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.110$$

in riferimento al Manuale sez III §3.12.1.2.2 si ottiene

### Sisma orizzontale

$$F_{sis} = a_{max} * \gamma_r * (H_{tot}) * 1.0 = 9.26 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{imp} = \alpha * S_p * \gamma_{cls} * 1m = 1.65 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{10.92} \text{ kN/m} \quad (\textbf{piedritto sx})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{1.65} \text{ kN/m} \quad (\textbf{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1m = 4.32 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{inr} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1m = 3.37 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{ins} = \alpha * S_s * \gamma_{cls} * 1m = 1.65 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{9.35} \text{ kN/m} \quad (\textbf{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 1.64 kN ed inferiore con valore pari a 1.64 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.25 kN ed inferiore con valore pari a 0.25 kN.

### Sisma verticale

$$F_{imp} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma_{cls} * 1m = \textbf{0.83} \text{ kN/m} \quad (\textbf{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1m = 2.16 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{inr} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1m = 1.69 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{ins} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{cls} * 1m = 0.83 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{4.67} \text{ kN/m} \quad (\textbf{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.70 kN.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  $G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$

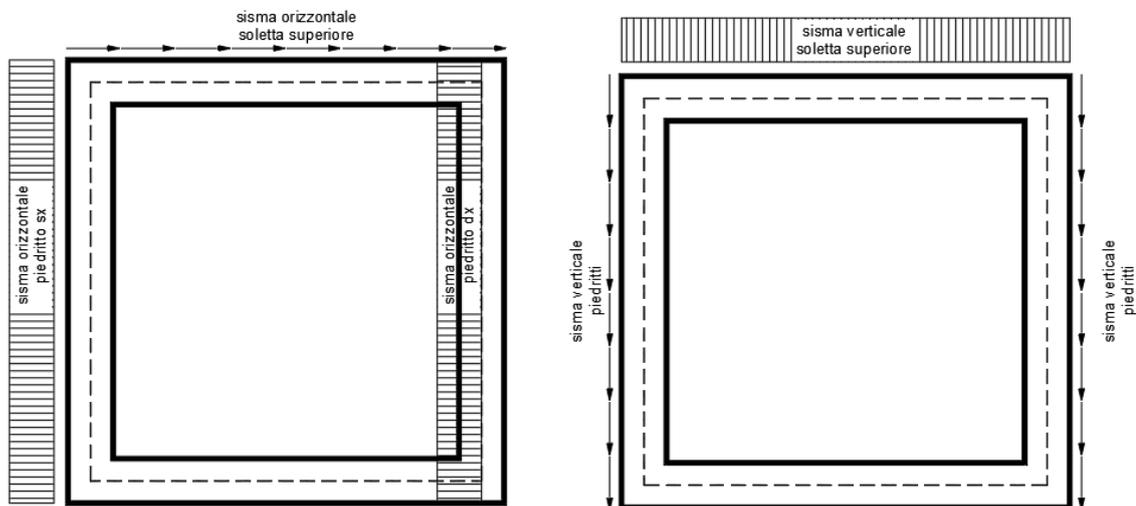


Fig. 12 – Schema tipo azioni sismiche orizzontali e verticali

#### 8.4 Diagrammi delle sollecitazioni

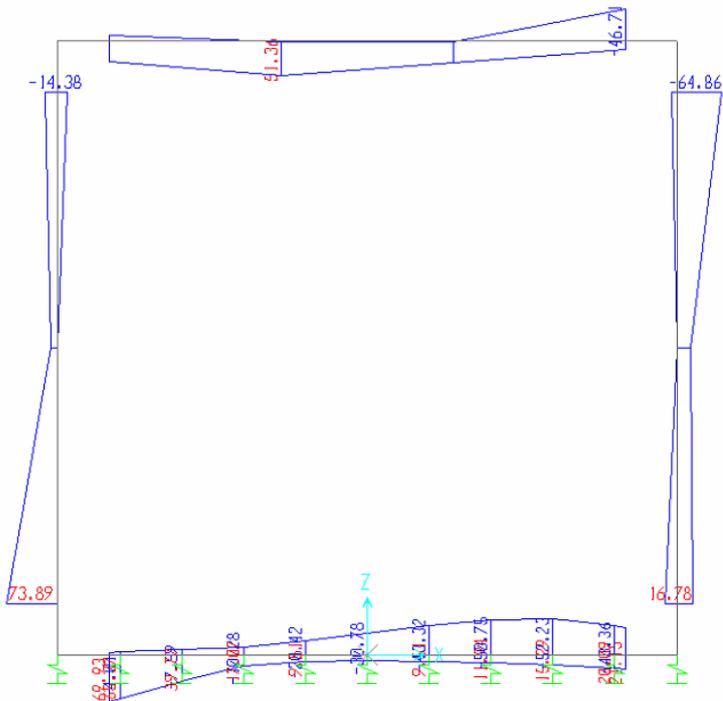


Fig. 13 – Involuppo momenti flettenti SLU

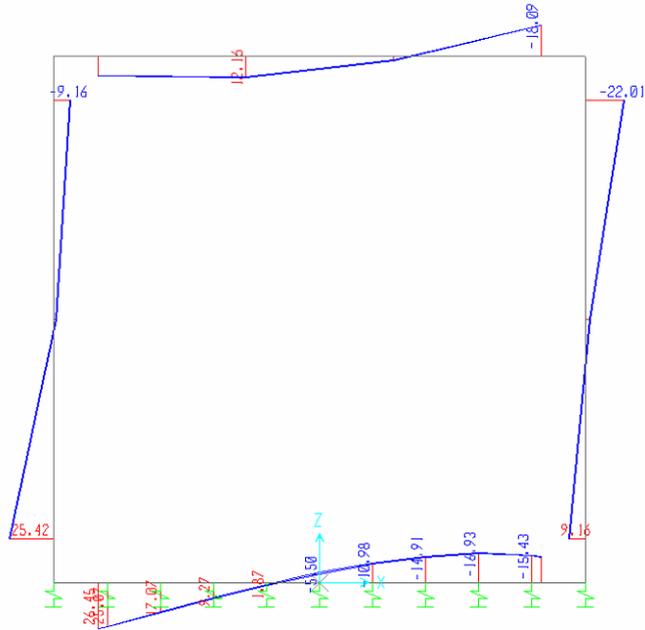


Fig. 14 – Involuppo momenti flettenti SLV

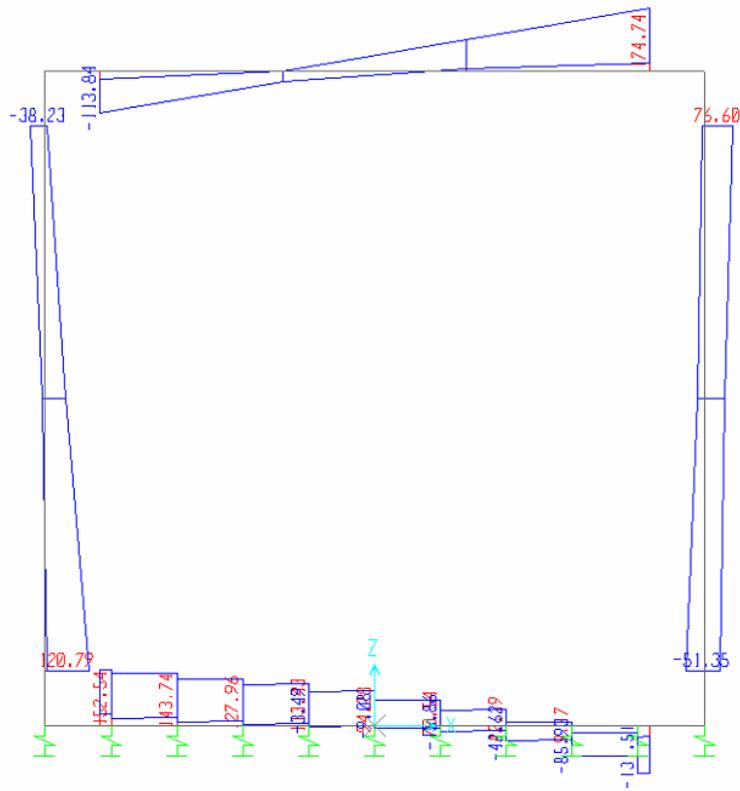


Fig. 15 – Involuppo sforzi taglianti SLU

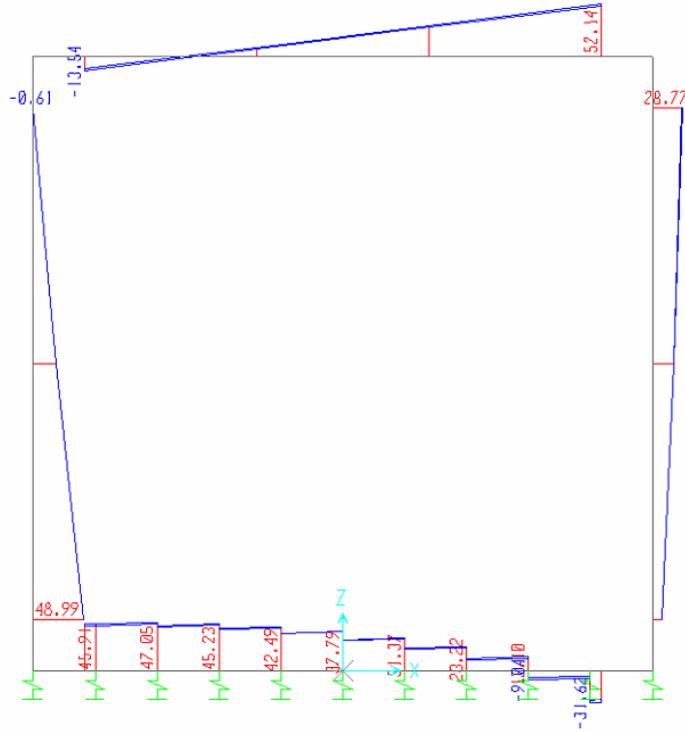


Fig. 16 – Involuppo sforzi taglianti SLV

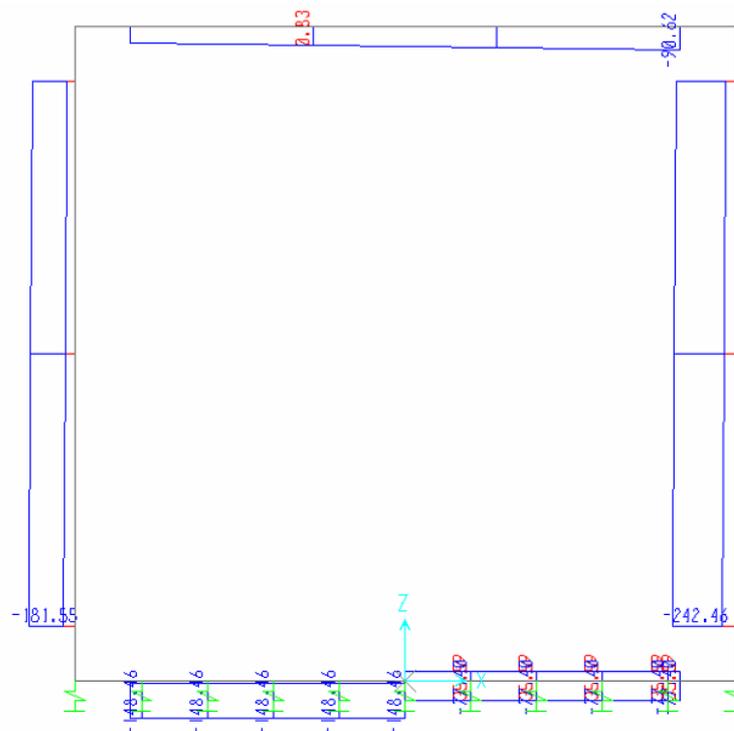


Fig. 17 – Involuppo azioni assiali SLU

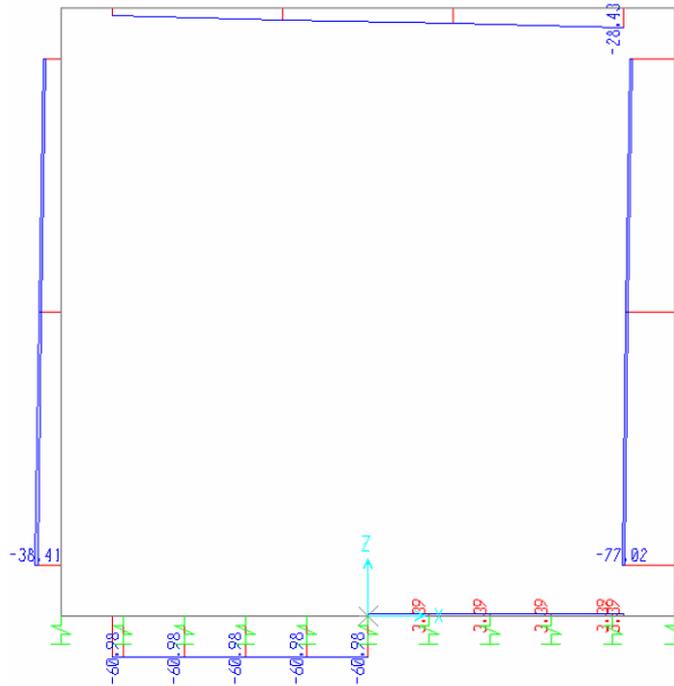


Fig. 18 – Involuppo azioni assiali SLV

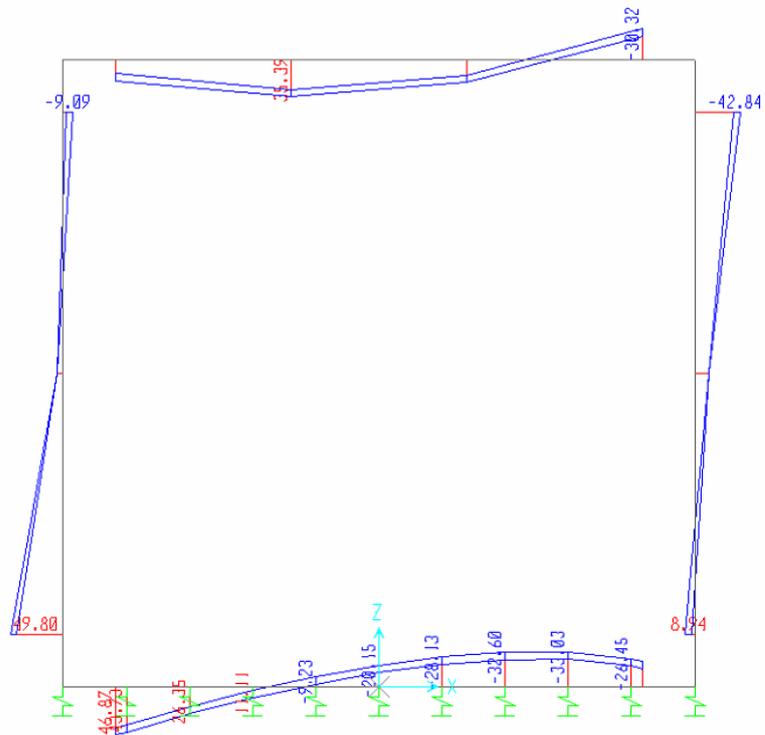


Fig. 19 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

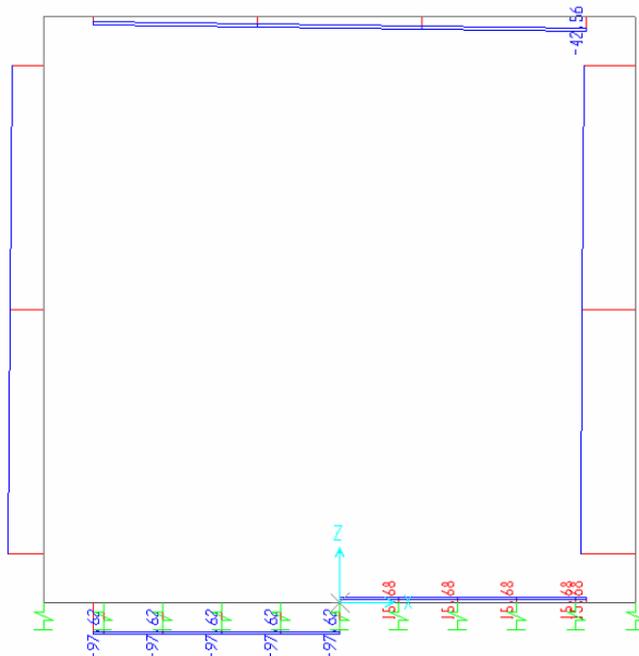


Fig. 20 – Involuppo azioni assiali SLE rara

### 8.5 Verifica delle sezioni in c.a.

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori delle sollecitazioni massime e i valori delle sollecitazioni per la verifica a fessurazione risultanti dalle combinazioni di cui al capitolo precedente.

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido. Per ogni elemento si ricerca la sezione di Momento e Taglio massimo; la verifica sarà eseguita con la sollecitazione, in modulo, maggiore:

		SLU STR-SLV			
Elemento strutturale	Sezione	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)
soletta inferiore	nodo	SLU13-STR2	148.46	69.93	152.54
	campata	SLU14-STR	-35.59	-52.23	-
soletta superiore	nodo piedritto	SLU13-STR	64.39	-46.71	174.74
	campata	SLU14-STR2	30.80	51.36	-
piedritti	nodo inf piedritto sx	SLU14-STR2	155.56	73.89	120.80
	nodo sup piedritto dx	SLU14-STR	227.27	64.86	76.60

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	42 di 59

Elemento strutturale	Sezione	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
		N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	ID Asta	N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	ID Asta	N (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)
soletta inferiore	nodo	97.62	46.87	soletta	82.97	39.08	soletta	40.98	17.45
	campata	-15.68	-33.03	inferiore	-7.93	-25.82	inferiore	13.38	-7.21
soletta superiore	nodo	42.56	-30.32	soletta	35.56	-24.08	soletta	16.53	-7.13
	campata	22.16	35.39	superiore	18.98	29.86	superiore	7.51	15.02
piedritti	nodo sup piedritto sx	98.25	-9.09	piedritti	83.39	-7.25	piedritti	38.81	-3.20
	nodo inf piedritto sx	109.50	49.80		94.64	41.53		50.06	18.16
	nodo sup piedritto dx	155.28	42.84		129.01	34.48		50.21	10.89
	nodo inf piedritto dx	166.53	-8.94		140.26	-5.66		55.84	2.68

### 8.5.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	16.5 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	16.5 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	12.0 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	0.0

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	43 di 59

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.7	8.3	22
2	-41.7	21.7	22
3	41.7	21.7	22
4	41.7	8.3	22

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	22
2	2	3	3	22

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	148.46	69.93	152.54
2	-35.59	52.23	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	97.62	46.87	0.00
2	-15.68	33.03	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	82.97	39.08 (53.79)	0.00 (0.00)
2	-7.93	25.82 (47.76)	0.00 (0.00)

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

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	44 di 59

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	40.98	17.45 (54.43)	0.00 (0.00)
2	13.38	7.21 (53.06)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	148.46	69.93	148.30	163.06	2.33	19.0(5.0)
2	S	-35.59	52.23	-35.88	149.07	2.85	38.0(5.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.346	-50.0	30.0	-0.00037	-41.7	21.7	-0.00662	-41.7	8.3
2	0.00350	0.321	-50.0	30.0	-0.00067	-41.7	21.7	-0.00739	-41.7	8.3

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000466487	-0.010494621	0.346	0.872
2	0.000000000	0.000501826	-0.011554771	0.321	0.842

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

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	45 di 59

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

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	152.54	207.29	21.7	100.0	0.0175	0.49
2	S	0.00	0.00	21.7	100.0	0.0000	0.00

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.62	-50.0	30.0	-104.2	-41.7	8.3	850	19.0
2	S	4.05	-50.0	30.0	-97.3	-41.7	8.3	950	19.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00088	0.00000	0.500	22.0	72	0.00031 (0.00031)	412	0.129 (0.20)	53.68	0.00
2	S	-0.00079	0.00000	0.500	22.0	72	0.00029 (0.00029)	432	0.126 (0.20)	47.40	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.68	-50.0	30.0	-86.4	-41.7	8.3	850	19.0
2	S	3.16	-50.0	30.0	-74.8	-41.7	8.3	950	19.0

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00073	0.00000	0.500	22.0	72	0.00026 (0.00026)	412	0.107 (0.20)	53.79	0.00
2	S	-0.00061	0.00000	0.500	22.0	72	0.00022 (0.00022)	432	0.097 (0.20)	47.76	0.00

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	46 di 59

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.08	-50.0	30.0	-37.5	-41.7	8.3	850	19.0
2	S	0.87	-50.0	30.0	-16.5	-41.7	8.3	900	19.0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00032	0.00000	0.500	22.0	72	0.00011 (0.00011)	412	0.046 (0.20)	54.43	0.00
2	S	-0.00014	0.00000	0.500	22.0	72	0.00005 (0.00005)	422	0.021 (0.20)	53.06	0.00

**8.5.2 Verifica soletta superiore**

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	16.5 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	16.5 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	12.0 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
---------	--------	--------	-----------

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	47 di 59

1	-41.7	8.3	22
2	-41.7	21.7	22
3	41.7	21.7	22
4	41.7	8.3	22

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	22
2	2	3	3	22

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.		
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate		

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	64.39	46.71	174.74
2	30.80	51.36	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	42.56	30.32	0.00
2	22.16	35.39	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	35.56	24.08 (52.05)	0.00 (0.00)
2	18.98	29.86 (49.93)	0.00 (0.00)

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	48 di 59

N°Comb.	N	Mx	My
1	16.53	7.13 (54.34)	0.00 (0.00)
2	7.51	15.02 (49.61)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	64.39	46.71	64.42	156.71	3.35	19.0(5.0)
2	S	30.80	51.36	31.02	154.17	3.00	38.0(5.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.335	-50.0	30.0	-0.00050	-41.7	21.7	-0.00696	-41.7	8.3
2	0.00350	0.330	-50.0	30.0	-0.00055	-41.7	21.7	-0.00710	-41.7	8.3

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000481894	-0.010956811	0.335	0.858
2	0.000000000	0.000488538	-0.011156131	0.330	0.853

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

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

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	49 di 59

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	174.74	198.16	21.7	100.0	0.0175	0.21
2	S	0.00	194.52	21.7	100.0	0.0175	0.10

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.66	-50.0	30.0	-73.1	-41.7	8.3	900	19.0
2	S	4.30	-50.0	30.0	-93.1	-41.7	8.3	900	19.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm Esito della verifica
e1	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copri ferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00061	0.00000	0.500	22.0	72	0.00022 (0.00022)	422	0.093 (0.20)	51.85	0.00
2	S	-0.00077	0.00000	0.500	22.0	72	0.00028 (0.00028)	422	0.118 (0.20)	49.91	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.90	-50.0	30.0	-57.6	-41.7	8.3	900	19.0
2	S	3.63	-50.0	30.0	-78.5	-41.7	8.3	900	19.0

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00048	0.00000	0.500	22.0	72	0.00017 (0.00017)	422	0.073 (0.20)	52.05	0.00
2	S	-0.00065	0.00000	0.500	22.0	72	0.00024 (0.00024)	422	0.099 (0.20)	49.93	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	50 di 59

1	S	0.85	-50.0	30.0	-15.4	-41.7	8.3	850	19.0
2	S	1.83	-50.0	30.0	-40.0	-41.7	8.3	900	19.0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00013	0.00000	0.500	22.0	72	0.00005 (0.00005)	412	0.019 (0.20)	54.34	0.00
2	S	-0.00033	0.00000	0.500	22.0	72	0.00012 (0.00012)	422	0.051 (0.20)	49.61	0.00

**8.5.3 Verifica piedritti**
**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	16.5 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	16.5 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	12.0 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Calcestruzzo: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.7	8.3	22
2	-41.7	21.7	22
3	41.7	21.7	22
4	41.7	8.3	22

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	51 di 59

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	22
2	2	3	3	22

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	155.56	73.89	120.80
2	227.27	64.86	76.60

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	98.25	9.09	0.00
2	109.50	49.80	0.00
3	155.28	42.84	0.00
4	166.53	8.94	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	83.39	7.25 (104.92)	0.00 (0.00)
2	94.64	41.53 (54.23)	0.00 (0.00)
3	129.01	34.48 (58.73)	0.00 (0.00)
4	140.26	5.66 (0.00)	0.00 (0.00)

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	52 di 59

N°Comb.	N	Mx	My
1	38.81	3.20 (112.03)	0.00 (0.00)
2	50.06	18.16 (55.62)	0.00 (0.00)
3	50.21	10.89 (61.78)	0.00 (0.00)
4	55.84	2.68 (1937.40)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	155.56	73.89	155.51	163.61	2.21	19.0(5.0)
2	S	227.27	64.86	227.08	168.99	2.61	19.0(5.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.347	-50.0	30.0	-0.00036	-41.7	21.7	-0.00659	-41.7	8.3
2	0.00350	0.357	-50.0	30.0	-0.00025	-41.7	21.7	-0.00630	-41.7	8.3

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000465139	-0.010454179	0.347	0.873
2	0.000000000	0.000451562	-0.010046873	0.357	0.886

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

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	53 di 59

Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]  
Scp Tensione media di compressione nella sezione [MPa]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	120.80	208.06	21.7	100.0	0.0175	0.52
2	S	76.60	215.84	21.7	100.0	0.0175	0.76

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.95	-50.0	30.0	-2.5	-41.7	8.3	900	19.0
2	S	5.96	-50.0	30.0	-109.1	-41.7	8.3	850	19.0
3	S	5.03	-50.0	30.0	-77.3	-41.7	8.3	1000	19.0
4	S	1.01	-50.0	30.0	3.3	-41.7	8.3	0	0.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2)/(2 * e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00004	0.00000	0.500	22.0	72	0.00001 (0.00001)	422	0.003 (0.20)	98.03	0.00
2	S	-0.00092	0.00000	0.500	22.0	72	0.00033 (0.00033)	412	0.135 (0.20)	54.01	0.00
3	S	-0.00068	0.00000	0.500	22.0	72	0.00023 (0.00023)	442	0.102 (0.20)	58.34	0.00
4	S	-0.00001	0.00000	0.500	22.0	72	0.00023 (0.00023)	0	0.001 (0.20)	377.49	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.76	-50.0	30.0	-1.3	-41.7	8.3	850	19.0
2	S	4.96	-50.0	30.0	-90.0	-41.7	8.3	850	19.0
3	S	4.04	-50.0	30.0	-61.1	-41.7	8.3	1000	19.0
4	S	0.73	-50.0	30.0	3.6	-41.7	8.3	----	----

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-------------	--------	----	---------	---------

**IN – TOMBINI FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	54 di 59

1	S	-0.00003	0.00000	0.500	22.0	72	0.00000 (0.00000)	412	0.002 (0.20)	104.92	0.00
2	S	-0.00076	0.00000	0.500	22.0	72	0.00027 (0.00027)	412	0.111 (0.20)	54.23	0.00
3	S	-0.00054	0.00000	0.500	22.0	72	0.00018 (0.00018)	442	0.081 (0.20)	58.73	0.00
4	S	0.00000	0.00000	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	0.00	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.33	-50.0	30.0	-0.3	-41.7	8.3	850	19.0
2	S	2.16	-50.0	30.0	-37.0	-41.7	8.3	850	19.0
3	S	1.26	-50.0	30.0	-16.8	-41.7	8.3	950	19.0
4	S	0.32	-50.0	30.0	1.3	-41.7	8.3	0	0.0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00001	0.00000	0.500	22.0	72	0.00000 (0.00000)	412	0.000 (0.20)	112.03	0.00
2	S	-0.00032	0.00000	0.500	22.0	72	0.00011 (0.00011)	412	0.046 (0.20)	55.62	0.00
3	S	-0.00015	0.00000	0.500	22.0	72	0.00005 (0.00005)	432	0.022 (0.20)	61.78	0.00
4	S	0.00000	0.00000	0.500	22.0	72	0.00005 (0.00005)	0	0.000 (0.20)	1937.40	0.00

**8.5.4 Tabella riassuntiva armature**

ARMATURA			
soletta inferiore	nodo piedritto	Ø22/20 inf	
	campata	Ø22/20 sup	
soletta superiore	nodo piedritto	Ø22/20 inf	
	campata	Ø22/20 sup	
piedritti	nodo soletta inf	Ø22/20 ext	
	nodo soletta sup	Ø22/20 int	

**8.5.5 Tabella incidenza armature**

INCIDENZA (Kg/m <sup>3</sup> )	
soletta inferiore	<b>135</b>
soletta superiore	<b>135</b>
piedritti	<b>135</b>

(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

	<b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> Relazione di calcolo - tombino tipologico phi 1500					
<b>IN – TOMBINI FERROVIARI</b>	COMMESSA RS6K	LOTTO 00R78	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000001	REV. A	FOGLIO 55 di 59

## 8.6 Verifica fondazione

### 8.6.1 Verifica portanza

Si riporta di seguito la verifica di portanza per la combinazione più sfavorevole:

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

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

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

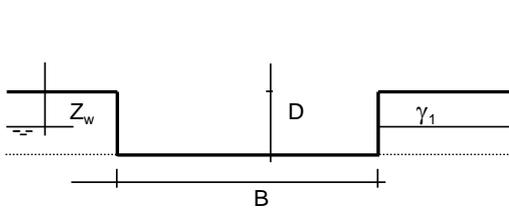
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

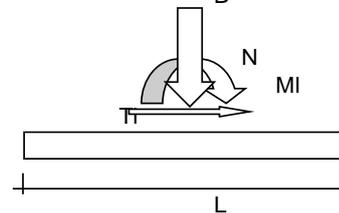
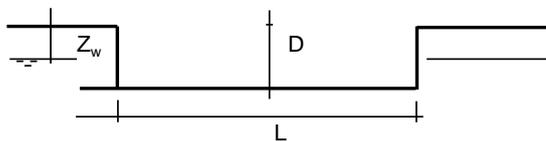
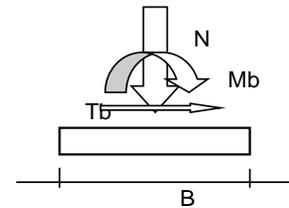
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

**coefficienti parziali**

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

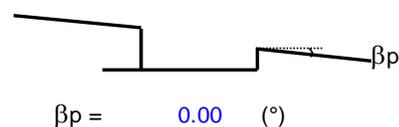


$\gamma, c', \varphi'$



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 2.10 (m)  
L = 1.00 (m)  
D = 2.10 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	419.00		419.00
Mb [kNm]	183.00		183.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	168.00		168.00
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	168.00	0.00	168.00

*Peso unità di volume del terreno*

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 19.50 \quad (\text{kN/mc}) \\ \gamma &= 19.50 \quad (\text{kN/mc}) \end{aligned}$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$\begin{aligned} c' &= 0.00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 32.00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

*Valori di progetto*

$$\begin{aligned} c' &= 0.00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 32.00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 10.00 \quad (\text{m})$$

$$\begin{aligned} e_B &= 0.44 \quad (\text{m}) \\ e_L &= 0.00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^* &= 1.23 \quad (\text{m}) \\ L^* &= 1.00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 40.95 \quad (\text{kN/mq})$$

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

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

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

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

$$N_q = 23.18$$

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

$$N_c = 35.49$$

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

$$N_\gamma = 30.21$$

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

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

$$s_c = 1.53$$

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

$$s_q = 1.51$$

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

$$s_\gamma = 0.67$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	58 di 59

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.55 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.45 \quad m = 1.55 \quad (-)$$

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

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

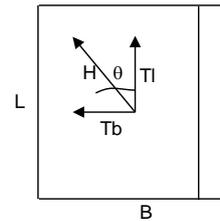
$$i_q = 0.45$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c \tan\varphi')$$

$$i_c = 0.43$$

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

$$i_\gamma = 0.27$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

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

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

$$d_q = 1.31$$

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

$$d_c = 1.33$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

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

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

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_q = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00R78	CL	IN0000001	A	59 di 59

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 902.17 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 341.62 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 392.25 \geq q = 341.62 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 168.00 \quad (\text{kN})$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 261.82 \quad (\text{kN})$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 238.02 \geq H_d = 168.00 \quad (\text{kN})$$