

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI - OLBIA**

**VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA**

**INTERFERENZE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari d1500 - IN01, IN08**

SCALA:

-

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

RR0H 04 D 13 CL IN0000 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato - Data
A	Emissione Esecutiva	F.BIANCHI	15 MARZO 2018	M.VILLANI	15 MARZO 2018	T.PAOLETTI	15 MARZO 2018	L.BERARDI 15 MARZO 2018



File: RR0H04D13CLIN0000002A.doc

n. Elab.:



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA**  
**VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA**

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari**  
**d1500 - IN01, IN08**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D.13 CL	IN 00 00 002	A	2 di 49

INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....</b>	<b>6</b>
2.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	6
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	6
2.3	SOFTWARE.....	6
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>7</b>
3.1	TOMBINI Ø1500 .....	7
<b>4</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>9</b>
4.1	ACCIAIO .....	9
4.1.1	<i>Acciaio per armatura strutture in c.a.....</i>	<i>9</i>
4.2	CALCESTRUZZO .....	9
4.2.1	<i>Calcestruzzo magro e getto di livellamento.....</i>	<i>9</i>
4.2.2	<i>Calcestruzzo tombini scatolari (compresi muri d'ala).....</i>	<i>9</i>
<b>5</b>	<b>CRITERI PROGETTUALI.....</b>	<b>10</b>
5.1	VELOCITÀ DI PROGETTO DELLA LINEA .....	10
5.2	CATEGORIA DI LINEA .....	10
5.3	VITA NOMINALE .....	10
5.4	CLASSE D'USO .....	10
5.5	AZIONE SISMICA.....	11
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>DIMENSIONAMENTO SCATOLARE .....</b>	<b>13</b>
7.1	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	13
7.2	INTERAZIONE TERRENO-FONDAZIONE .....	14
7.3	EFFETTI DINAMICI.....	14

7.4	ANALISI DEI CARICHI.....	17
7.4.1	Peso proprio (PP).....	17
7.4.2	Permanenti portati (PERM).....	17
7.4.3	Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX).....	18
7.4.4	Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (ACCM) .....	20
7.4.5	Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico da traffico ferroviario (SPACCSX e SPACCDX).....	23
7.4.6	Frenatura e avviamento (AVV).....	24
7.4.7	Serpeggio .....	24
7.4.8	Azione termiche (TERM).....	24
7.4.9	Ritiro (RITIRO) .....	24
7.4.10	Azione Sismica.....	26
7.5	COMBINAZIONI DI CARICO.....	30
7.5.1	Coefficienti di combinazione .....	30
7.5.2	Combinazioni SLU/SLV/SLE .....	34
7.6	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI .....	36
7.6.1	Risultati Analisi Strutturali .....	36
7.7	VERIFICHE STRUTTURALI .....	38
7.7.1	Soletta Superiore.....	38
7.7.2	Piedritti .....	40
7.7.3	Soletta Inferiore .....	43
7.7.4	Verifica allo SLE: Fessurazione .....	45
7.8	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	48
<b>8</b>	<b>INCIDENZA ARMATURA .....</b>	<b>49</b>
8.1	SCATOLARE .....	49

## 1 PREMESSA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche dei tombini ferroviari circolari della Variante Bonorva-Torralba, nell'ambito della progettazione definitiva dell'itinerario San Gavino – Sassari – Olbia. I manufatti in oggetto sono costituiti da tombini scatolari in c.a. con luce interna di Ø1500, le cui dimensioni di progetto derivano dallo studio idraulico delle portate ad essi afferenti.

La Tabella 1-1 riassume le varie tipologie di tombini che interferiscono con la variante Bonorva-Torralba. In verde è evidenziata l'opera calcolata nella presente relazione, mentre in giallo sono evidenziate le opere assimilabili a quella calcolata.

In particolare, si procede al calcolo del tombino ferroviario Ø1500 ubicato alla seguente progressiva:

- IN01 Progressiva km 0+488.00.

L'opera oggetto del calcolo è assimilabile alle seguenti opere:

- IN08 Progressiva km 5+829.04.

**TABELLA 1-1: TOMBINI TRATTA BONORVA-TORRALBA**

TOMBINO	PROGRESSIVA	TIPOLOGIA		DIMENSIONI	
		FERROVIARIO	STRADALE	CIRCOLARE	SCATOLARE
IN01	0+488.00			D1500 mm	
IN06	4+058.43				3.5 x 3 m
IN08	5+829.04			D1500 mm	
IN03	0+596.46			D1500 mm	
IN04	0+111.87			D600 mm	
IN05	0+095.00			D1500 mm	
IN07	0+370.34			D1500 mm	

**LEGENDA:**

-  Opera calcolata nella presente relazione
-  Opera assimilabile a quella calcolata

Per la descrizione delle opere si veda il punto 3 della presente relazione.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

### 2.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- Ref. 1 - RR0H04D13RBOC0001001A - Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto;
- Ref. 2 - RR0H04D13F6OC0001001A - Profilo geotecnico di linea - Tav 1 di 4
- Ref. 3 - RR0H04D13F6OC0001002A - Profilo geotecnico di linea - Tav 2 di 4
- Ref. 4 - RR0H04D13F6OC0001003A - Profilo geotecnico di linea - Tav 3 di 4
- Ref. 5 - RR0H04D13F6OC0001004A - Profilo geotecnico di linea - Tav 4 di 4
- Ref. 6 - RR0H04D13PZIN0100001A - IN01 - Pianta, profilo e sezioni di carpenteria e scavi
- Ref. 7 - RR0H04D13PZIN0800001A - IN08 - Pianta, profilo e sezioni di carpenteria e scavi
- Ref. 8 - RR0H04D13TTOC0000001A - Tabella materiali e Note generali

### 2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- Ref. 9 - Decreto Ministeriale del 14/01/2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n.30.
- Ref. 10 - Circolare 01/02/2009, n.617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008.
- Ref. 11 - DM 06/05/2008 - "Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Ref. 12 - RFI DTC SI MA IFS 001 A - "Manuale di progettazione delle opere civili"
- Ref. 13 - RFI DTC SI SP IFS 001 A - "Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili"
- Ref. 14 - UNI EN 1992-1-1: EUROCODICE 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- Ref. 15 - UNI EN 1991-2:2003/AC:2010: EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti

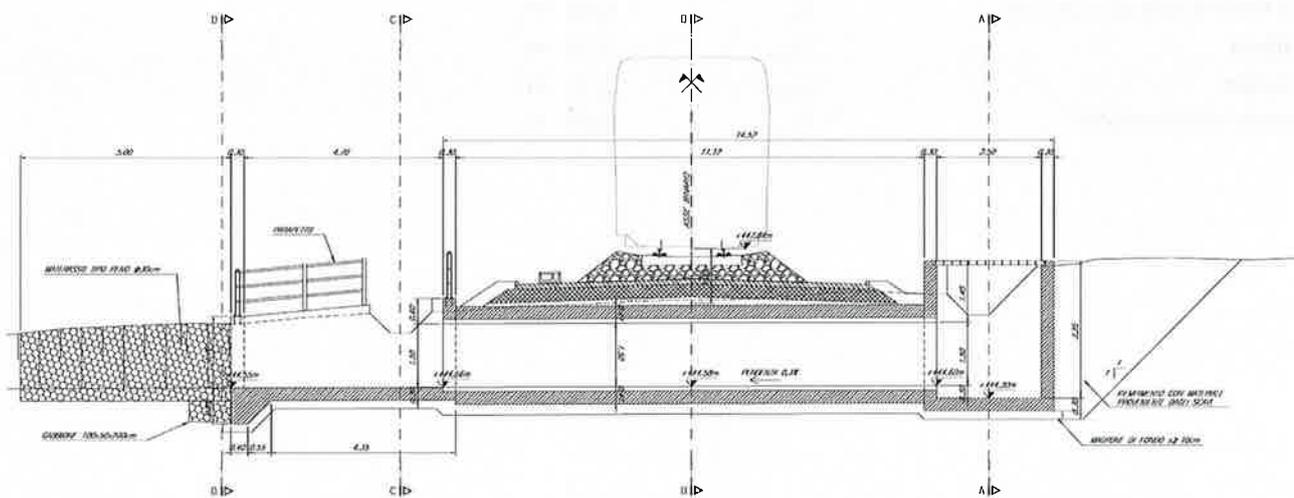
### 2.3 SOFTWARE

- Ref. 16 - SAP2000, Computers and Structures Inc., versione 2017, version 19.2.1

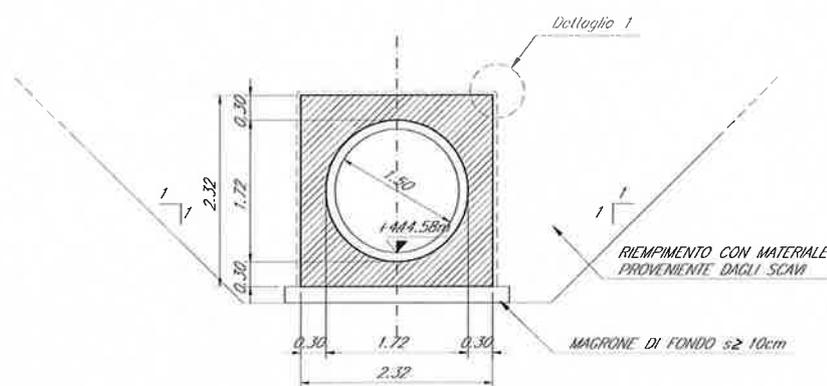
### 3 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

#### 3.1 TOMBINI Ø1500

Il tombino è costituito da un manufatto scatolare in conglomerato cementizio armato gettato in opera, di dimensioni esterne 2.32 x 2.32 m e luce interna di diametro 1.5 m, di cui si riporta in Figura una sezione longitudinale e trasversale tipologica. Per i dettagli delle carpenterie dei manufatti si rimanda all'elaborato grafico specifico.



**FIGURA 3-1: SEZIONE LONGITUDINALE TIPOLOGICA**



**FIGURA 3-2: SEZIONE TRASVERSALE TIPOLOGICA**

Nel seguito verrà esaminata una striscia di tombino avente lunghezza di 1.00 m. Le caratteristiche geometriche del manufatto sono le seguenti:

Spessore medio del ballast+armamento	$H_b$	0.80 m
Spessore sovrizzo curva	$H_{sv}$	0.00 m
Spessore traversina+rotaie	$H_{tb}$	0.35 m
Spessore del sub ballast	$H_{sb}$	0.12 m

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari  
d1500 - IN01, IN08**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 13 CL	IN 00 00 002	A	8 di 49

Spessore del supercompattato	$H_{sc}$	0.30 m
Spessore massetto impermeabilizzante	$H_m$	0.05 m
Spessore del rinterro	$H_r$	0.25 m
Larghezza traversa	$L_t$	2.40 m
Larghezza totale	$L_{tot}$	2.32 m
Larghezza netta	$L_{int}$	1.72 m
Spessore fondazione	$S_f$	0.30 m
Spessore soletta sup.	$S_s$	0.30 m
Spessore piedritti	$S_p$	0.30 m
Spessore finitura soletta superiore	$S_{fs}$	0.00 m
Altezza libera	$H_{int}$	1.72 m
Altezza totale	$H_{tot}$	2.32 m
Larghezza striscia di calcolo	$b$	1.00 m

## 4 MATERIALI

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

### 4.1 ACCIAIO

#### 4.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
- allungamento caratteristico:  $\geq 7.5 \%$
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:  $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

### 4.2 CALCESTRUZZO

#### 4.2.1 Calcestruzzo magro e getto di livellamento

- Classe di resistenza: C12/15
- classe di esposizione: X0

#### 4.2.2 Calcestruzzo tombini scatolari (compresi muri d'ala)

- Classe di resistenza: C30/37
- classe di consistenza: S3 - S4
- classe di esposizione: XA1
- dimensione massima dell'inerte:  $D_{max} = 25 \text{ mm}$
- copriferro minimo:  $c_{f,min} \geq 50 \text{ mm}$

## 5 CRITERI PROGETTUALI

I dati di base della linea ferroviaria oggetto del presente progetto definitivo sono riassunti di seguito:

### 5.1 VELOCITÀ DI PROGETTO DELLA LINEA

La velocità di progetto della linea ferroviaria mono binario in oggetto è di 140 km/h.

### 5.2 CATEGORIA DI LINEA

La categoria di linea prevista è la D4.

Categorie di linee

Categoria (I)	Massa per asse	Massa per metro corrente
A	16 t	5,0 t/m
B <sub>1</sub>	18 t	5,0 t/m
B <sub>2</sub>	18 t	6,4 t/m
C <sub>2</sub>	20 t (2)	6,4 t/m
C <sub>3</sub>	20 t (2)	7,2 t/m
C <sub>4</sub>	20 t (2)	8,0 t/m
D <sub>2</sub>	22,5 t	6,4 t/m
D <sub>3</sub>	22,5 t	7,2 t/m
D <sub>4</sub>	22,5 t	8,0 t/m
E <sub>5</sub>	25,0 t	8,8 t/m

### 5.3 VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è 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.

L'opera viene classificata come "Altre opere nuove a velocità  $V < 250$  km/h". Secondo quanto riportato in Ref. 12 al §2.5.1.1.1., la vita nominale è pari a 75 anni.

### 5.4 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso la classe d'uso delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato in Ref. 12 al §2.5.1.1.2

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [CU]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,00
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,50
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,00

FIGURA 5-1: CLASSI E COEFFICIENTI D'USO PER LE INFRASTRUTTURE FERROVIARIE

L'opera appartiene alla classe d'uso II e pertanto il relativo coefficiente d'uso risulta pari a: 1,00

## 5.5 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che è ricavato, per ciascun tipo di opera, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ .

Pertanto  $V_R = 75 \times 1.0 = 75$  anni.

L'opera in esame è collocata in Sardegna.

L'azione sismica è valutata in accordo alle NTC2008 di cui al Ref. 9 assumendo in generale:

- Vita nominale:  $V_N = 75$  anni
- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso:  $C_U = 1.0$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N \times C_U = 75$  anni
- Categoria di suolo: A
- Categoria topografica: T1
- Stato limite da considerarsi: SLV
- Tempo di ritorno:  $T_R = 712$  anni

Il calcolo dei parametri sismici relativi alla sardegna può essere condotto in accordo con l'allegato A e B delle NTC 2008, Tabella 2 di cui al Ref. 9. Il calcolo dei parametri sismici, per il tempo di ritorno di 712 anni, è ottenuto per interpolazione dei parametri relativi ai tempi di ritorno 475 anni e 975 anni, sulla base della relazione 2 nell'allegato A del Ref. 9.

### Calcolo $a_g$ Sardegna

$T_R = 712$  anni Tempo di ritorno

$a_g = 0.0556$  g

$F_0 = 2.94$  g

$T_R = 475$  anni Tempo di ritorno di riferimento 1

$a_g = 0.0500$  g

$F_0 = 2.88$  -

$T_R = 975$  anni Tempo di ritorno di riferimento 2

$a_g = 0.0603$  g

$F_0 = 2.98$  -

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Lungo tutto il tracciato superficialmente affiorano formazioni rocciose e localmente sono presenti depositi e coltri di alterazione delle formazioni litoidi (per maggiori dettagli vedasi la relazione geotecnica di cui al **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

In generale, lungo tutto il tracciato, in corrispondenza di formazioni rocciose affioranti, è stata considerata la presenza di una fascia più superficiale fortemente alterata e allentata, corrispondente alla "struttura disintegrata", avente uno spessore medio pari a 2.5 metri, i cui valori dei parametri meccanici sono assunti coincidenti con quelli delle unità geotecniche con quelli delle unità geotecniche "a" e "b" (depositi di versante e coltri eluvio colluviali).

Ai fini della determinazione dei valori da assegnare alle molle alla Winkler, si assume prudenzialmente per il terreno di fondazione un modulo di compressibilità corrispondente al terreno sciolto e pari a  $E' = 25$  MPa.

Il rinterro dell'opera avverrà con terreno da rilevato stradale/terreno di riporto lungo tutta l'altezza del manufatto. Per le caratteristiche dei rilevati stradali e del terreno imbarcato e di riporto, si assumono i seguenti parametri:

Peso di volume  $\gamma = 19$  kN/mc

Angolo di resistenza al taglio  $\phi' = 35^\circ$

Coesione efficace  $c' = 0$

La falda è profonda per cui non interagisce con l'opera.

## 7 DIMENSIONAMENTO SCATOLARE

### 7.1 MODELLAZIONE STRUTTURALE

La modellazione strutturale è stata condotta con l'ausilio di un codice di calcolo agli elementi finiti, il SAP 2000 (Ref. 16).

L'analisi strutturale è effettuata su una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler, per simulare l'interazione terreno-struttura. Più precisamente, l'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo. Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

Soletta superiore: Sezione 100 x 30 cmq

Piedritti: Sezione 100 x 30 cmq

Soletta inferiore: Sezione 100 x 30 cmq

Affinché la modellazione della struttura dia risultati soddisfacenti il passo massimo della suddivisione interna in elementi finiti è stato fissato in 0.25 m. Per tenere correttamente in conto gli effetti di sovrapposizione tra elementi strutturali in corrispondenza dei nodi di intersezione, è stata assegnata alle aste la funzione "End Offsets" in grado di tenere precisamente in conto la sovrapposizione tra elementi intersecanti. La figura che segue illustra il modello di calcolo adottato.

Convenzione assi:

**x** = asse trasversale dello scatolare

**y** = asse longitudinale dello scatolare

**z** = asse verticale dello scatolare

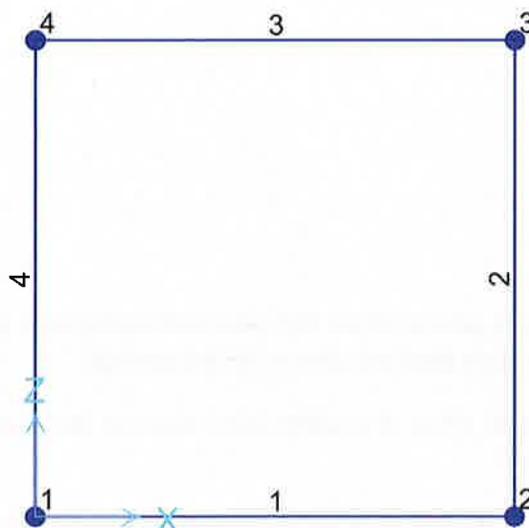


FIGURA 7-1: MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI E NUMERAZIONE DEI NODI

## 7.2 INTERAZIONE TERRENO-FONDAZIONE

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità del terreno sono riportate al punto 6. Per la determinazione della costante di sottofondo alla Winkler si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

$$k_w = E / [(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_t]$$

dove:

E = modulo elastico medio del terreno sottostante il tombino (media su un'altezza pari a 2B);

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;

B = lato minore della fondazione;

$c_t$  = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L= lato maggiore della fondazione):

$$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B) \quad \text{rettangolare con } L/B \leq 10$$

$$c_t = 2 + 0.0089 (L/B) \quad \text{rettangolare con } L/B > 10$$

Di seguito è riportato il calcolo della rigidità delle molle nel modello di calcolo k che sono applicate sia in direzione verticale che in direzione orizzontale:

### Calcolo rigidità molle modello di calcolo

E	25 MPa	modulo elastico del terreno
$\nu$	0.3	coeff. di Poisson
B	2.32 m	larghezza fondazione
L	15.42 m	lato maggiore della fondazione
L/B	6.65	
		fattore di forma (Interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960)
Ct	1.864	
Ks	6351 kN/mc	
		kN/mq/
k	6351 m	

## 7.3 EFFETTI DINAMICI

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

Nella progettazione delle opere ferroviarie gli effetti di amplificazione dinamica dei carichi da traffico ferroviario devono valutarsi alternativamente nei seguenti modi:

- Tramite un'analisi statica, moltiplicando le azioni dei modelli di carico previsti in Ref. 9, Ref. 12 e Ref. 15 per il coefficiente dinamico  $\phi$  e il coefficiente di adattamento  $\alpha$ , definito nel Ref. 9;
- Tramite analisi dinamica

I requisiti per determinare se è richiesta una analisi statica o dinamica sono indicati in Ref. 15. In particolare, si fa riferimento al diagramma di flusso come dal punto 6.4.4 del Ref. 15, riportato in Figura 7-2, dove:

- $V$  è la massima velocità della linea [km/h];
- $L$  è la luce della campata in semplice appoggio da assumere pari a  $L_\phi$  "lunghezza caratteristica" per ponti continui [m]
- $n$  è la prima frequenza naturale flessionale del ponte caricato con le azioni permanenti [Hz];
- $n_T$  è la prima frequenza naturale torsionale del ponte caricato con le azioni permanenti [Hz].

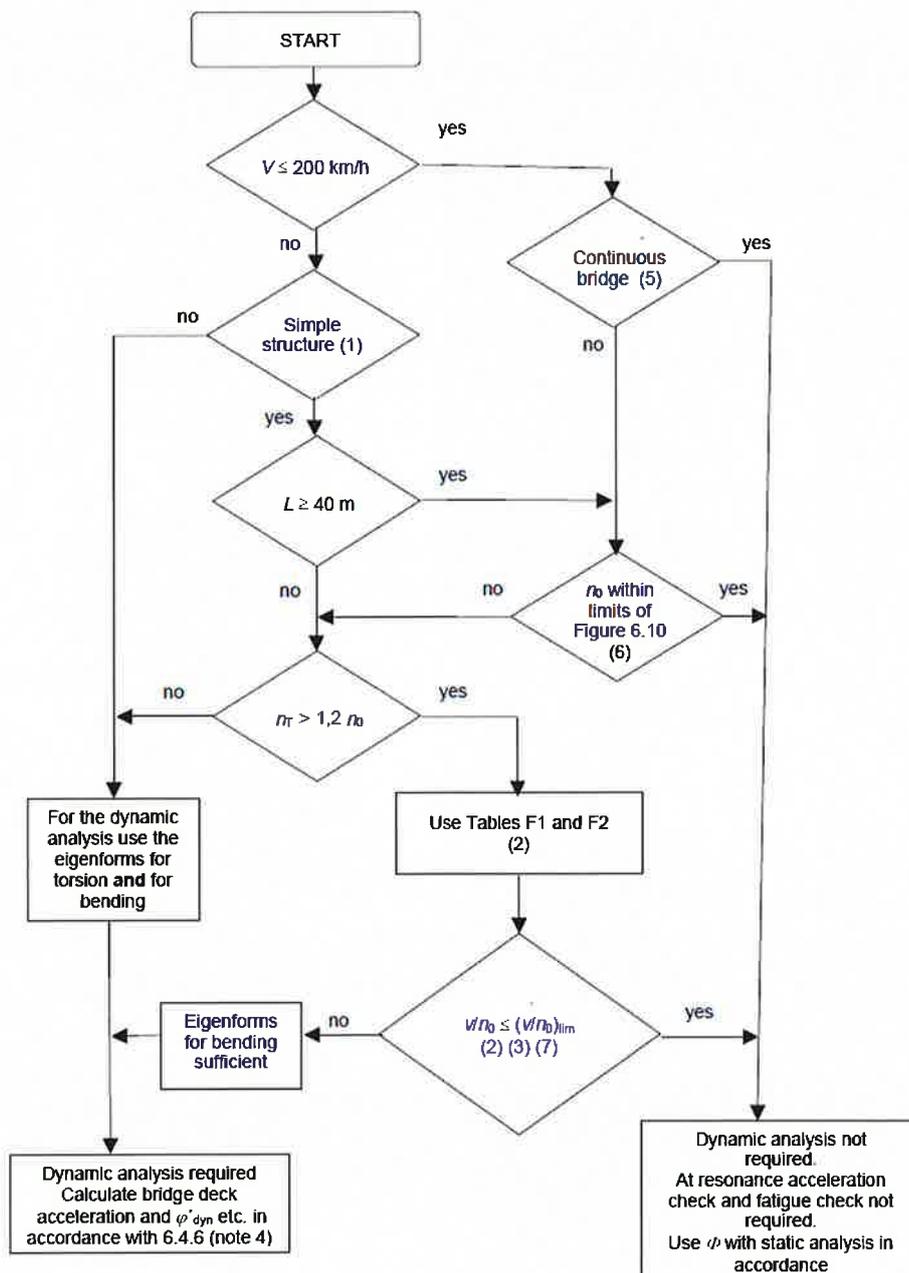


FIGURA 7-2: DIAGRAMMA DI FLUSSO PER DETERMINARE SE L'ANALISI DINAMICA È NECESSARIA



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA**  
**VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA**

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari  
d1500 - IN01, IN08**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 13 CL	IN 00 00 002	A	16 di 49

Siccome la velocità massima della linea è pari a 140 km/h e lo scatolare può essere assimilato ad un ponte continuo, l'analisi dinamica non è necessaria.

#### 7.4 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico. Tutti i carichi elementari si riferiscono a un concio longitudinale di lunghezza unitaria, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

L'analisi dei carichi viene svolta considerando le azioni previste nel Ref. 9 e nel Ref. 12 (in particolare al §3.12.1.2.2. e nella Parte II - Sezione 2 "Ponti e Strutture").

##### 7.4.1 *Peso proprio (PP)*

Il carico delle strutture in c.a. viene valutato considerando un peso di volume pari a 25 kN/mc. Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

##### 7.4.2 *Permanenti portati (PERM)*

Sono stati considerati i seguenti carichi permanenti sulla soletta superiore:

###### **Carichi permanenti soletta superiore**

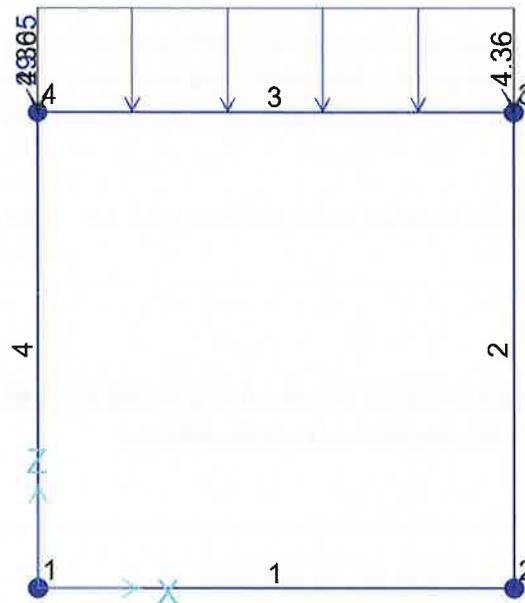
Ballast e armamento:	0.8 m x 18.00 kN/mc =	14.40 kN/mq
Sovralzo per linee in curva:	0 m x 20.00 kN/mc =	0.00 kN/mq
Sub-ballast:	0.12 m x 20.00 kN/mc =	2.40 kN/mq
Supercompattato:	0.3 m x 20.00 kN/mc =	6.00 kN/mq
Massetto impermeabilizzante:	0.05 m x 25.00 kN/mc =	1.25 kN/mq
Rinterro:	0.25 m x 20.00 kN/mc =	5.00 kN/mq

1.52 m

29.05 kN/m/m

In più, viene aggiunto, come carico concentrato nei nodi tra la soletta superiore e i piedritti, il carico permanente sulla soletta di copertura dovuto al peso della zona sovrastante la metà dello spessore del piedritto, in quanto la modellazione dello scatolare è stata fatta in asse piedritto.

Peso ricoprimento per metà spessore piedritto:  $29.05 \cdot (0.30/2) = 4.36$  kN



**FIGURA 7-3: CARICHI PERMANENTI (PERM)**

#### 7.4.3 Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX)

A tergo dei ritti si è provveduto ad applicare un diagramma di spinta trapezoidale simulante la spinta del terreno laterale dovuta al peso proprio del terreno stesso. Le spinte sui piedritti in fase statica devono essere determinate applicando il coefficiente di spinta a riposo  $k_0 = 1 - \sin \phi'$ , dove  $\phi'$  è l'angolo di resistenza al taglio del terreno agente sui piedritti (Ref. 12, §3.12.1.2.2)

Considerato che il rinterro dell'opera avverrà con terreno da rilevato ferroviario/terreno di riporto, si assumono i seguenti parametri fisico-meccanici:  $\phi' = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , lungo tutta l'altezza del tombino. Il livello della falda è al di sotto del piano di imposta della fondazione del manufatto.

#### Valori di progetto allo SLU/SLE

$\gamma_t =$	20 kN/mc	peso di volume rinterro
$\phi' =$	38 °	angolo di attrito del rinterro
$c' =$	0 kPa	coesione efficace

La pressione del terreno verrà calcolata secondo la formula:

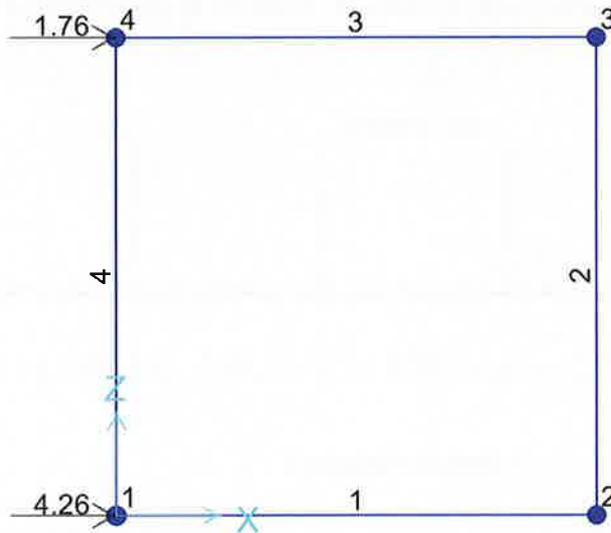
$$P = (P_b + h_{\text{variabile}} * \gamma_{\text{terreno\_piedritto}}) * K_0$$

In più, viene aggiunta la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore, come carico concentrato nei nodi 1 e 3 (per la SPTSX) oppure 2 e 4 (per la SPTDX).

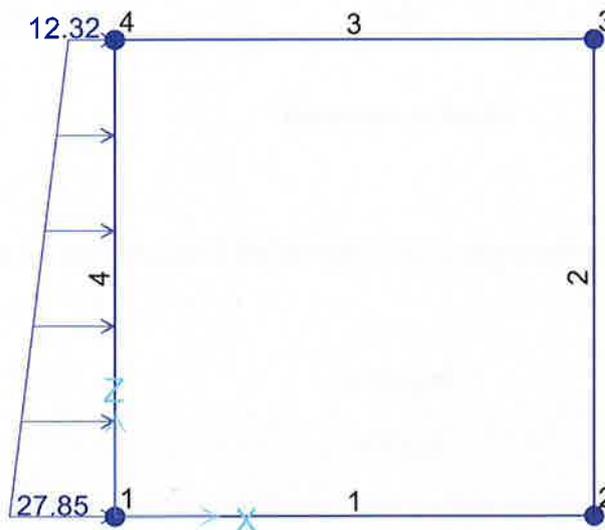
Pertanto alle diverse quote risulta:

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

Coeff. di spinta in quiete	$K_0=1-\text{sen}\varphi'$	0.38434 [-]
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	P1 =	11.17 kN/mq
Spinta asse soletta superiore	P2 =	12.32 kN/mq
Spinta asse soletta inferiore	P3 =	27.85 kN/mq
Spinta alla quota di intradosso sol. Inf.	P4 =	29.00 kN/mq
Spinta semispessore sol. sup.	F1 =	1.76 kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2 =	4.26 kN/m



**FIGURA 7-4: CARICO CONCENTRATO DOVUTO ALLA SPINTA DEL TERRENO (SPTSX)**



**FIGURA 7-5: CARICO DISTRIBUITO DOVUTO ALLA SPINTA DEL TERRENO (SPTSX)**

I carichi applicati sono rappresentati in Figura 7-4 e Figura 7-5, nel caso della SPTSX. Lo stesso carico viene applicato nel caso della SPTDX, ma con segno opposto.

Le spinte del terreno di rinfiaccio vengono calcolate assumendo alternativamente uno scenario di spinta non equilibrata. In aggiunta si considera anche la condizione di carico con spinte equilibrate su entrambi i piedritti (per ulteriori dettagli si rimanda al paragrafo 7.5)

#### 7.4.4 Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (ACCM)

Per quanto concerne il sovraccarico ferroviario, si considera il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno SW/2 e il carico verticale dovuto al treno LM71. In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM 71. Esso verrà uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura. Secondo quanto riportato al Ref. 9, i carichi da traffico ferroviario devono essere incrementati da un coefficiente di adattamento  $\alpha$  e di amplificazione dinamica  $\Phi$ . Il calcolo di quest'ultimo è dettagliato nel seguente paragrafo.

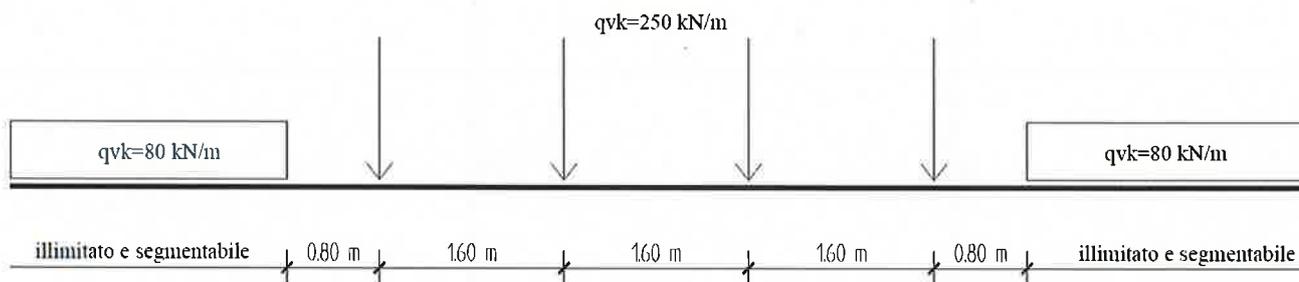


FIGURA 7-6: TRENO LM71

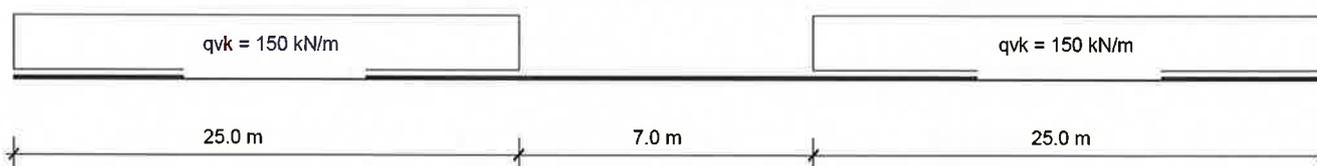


FIGURA 7-7: TRENO SW/2

#### COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al §2.5.1.4.2 del Ref. 12 al punto 6.4.5.2 del Ref. 15 e al Ref. 9.

Poiché risulta:

$$H_{int} < 5 \text{ m}$$

$$L_{int} < 8 \text{ m}$$

Si assume  $\Phi=1.35$  per linee a ridotto standard manutentivo, come specificato a in Tab. 5.2.II del Ref. 9 al punto 5.4 (Figura 7-8).

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

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

**FIGURA 7-8: CRITERI PER LA DETERMINAZIONE DELLA LUNGHEZZA CARATTERISTICA (TAB. 5.2.II NTC 2008)**
**CARICO VERTICALE SULLA SOLETTA DI COPERTURA**

I sovraccarichi ferroviari (LM71 e SW2) si distribuiscono attraverso il ricoprimento con una pendenza 1 a 4 all'interno del ballast, con la pendenza a  $\phi'$  nel sub-ballast, super compattato, rinterro e 45° all'interno del CLS (§5.2.2.3.1.4 Ref. 9), per cui la diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_d = L_t + 2 \cdot ((H_b - H_{tb}) / 4 + (H_{sb} + H_{sc} + H_r) \cdot \tan(\phi') + S_s / 2) = 4.02 \text{ m}$$

Pertanto il carico ripartito a metro di profondità dovuto al treno LM 71 (considerando il coefficiente di adattamento  $\alpha=1.1$  e il coefficiente dinamico  $\Phi_3 = 1.35$ ) risulta:

**Carico verticale sulla soletta di copertura ACCM**

**LM71**

Lunghezza caratteristica per coeff. Din.	$L_\Phi$	2.496 m
Standard manutentivo (elevato/ridotto):		ridotto
Coefficiente dinamico	$\Phi$	1.35
Coefficiente di adattamento	$\alpha$	1.1
Larghezza traversa	$L_t$	2.4 m
Impronta di carico longitudinale	$L_{d,l}$	6.4 m
Impronta di carico trasversale	$L_d$	4.02 m

**$Q_{vk}$  - Forze concentrate**

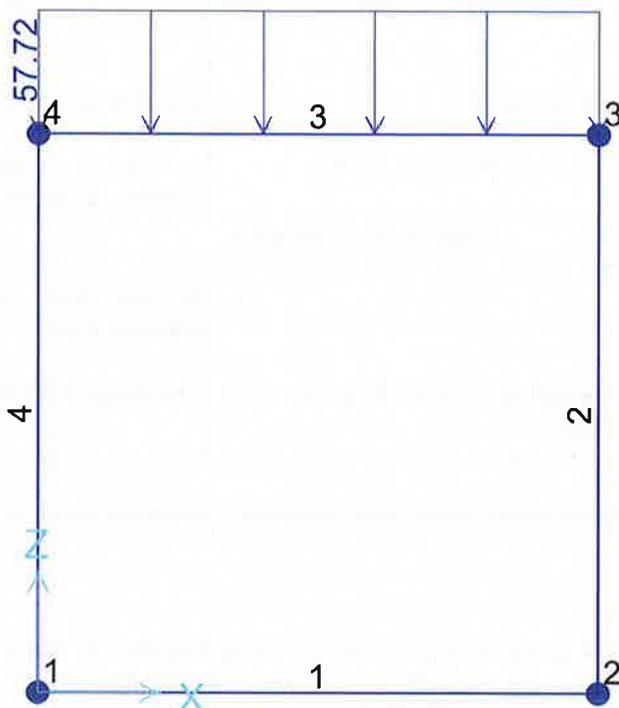
Carico $Q_{vk}$ (totale)	1000 kN
Carico $Q_{vk}$ (ripartito) = $[1000/L_{d,l}] * \alpha * \Phi / L_d$	<b>57.72 kN/mq</b>

**$q_{vk}$  - Carico distribuito**

Carico $q_{vk}$	80 kN/m
Carico $q_{vk}$ (ripartito) = $80 * \alpha * \Phi / L_d$	<b>29.55 kN/mq</b>

**SW/2**

Coefficiente di adattamento	$\alpha$	1
Carico $q_{vk}$	150 kN/m	
Carico $q_{vk}$ (ripartito)	<b>50.37 kN/mq</b>	



**FIGURA 7-9: SOVRACCARICO FERROVIARIO (ACCM)**

7.4.5 Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico da traffico ferroviario (SPACCSX e SPACCDX)

Si considera la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo del rilevato ipotizzando un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è comunque pari a  $S=k_0 \cdot q \cdot H$ , con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste. Tale sovraspinta è dovuta al passaggio di un convoglio LM71 ed è applicata ai piedritti con un diagramma di spinta rettangolare e due forze concentrate nei nodi 1e 3 (SPACCSX) o 2 e 4 (SPACCDX) aventi modulo pari alla risultante della spinta nel semispessore della soletta superiore ed inferiore. I carichi applicati risultano pari a:

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

**LM71**

Carico distribuito (80 kN/m)

$$(80 \cdot \alpha / L_d) \cdot K_0 = 8.41 \text{ kN/mq}$$

Carico ripartito equivalente alle forze concentrate

$$[1000/L_{d,1}] \cdot \alpha / L_d = 16.43 \text{ kN/mq}$$

Spinta semispessore soletta superiore:

2.46 kN

Spinta semispessore soletta inferiore:

2.46 kN

Essi sono illustrati nella Figura 7-10 , nel caso della SPTSX. Lo stesso carico viene applicato nel caso della SPTDX, ma con segno opposto.

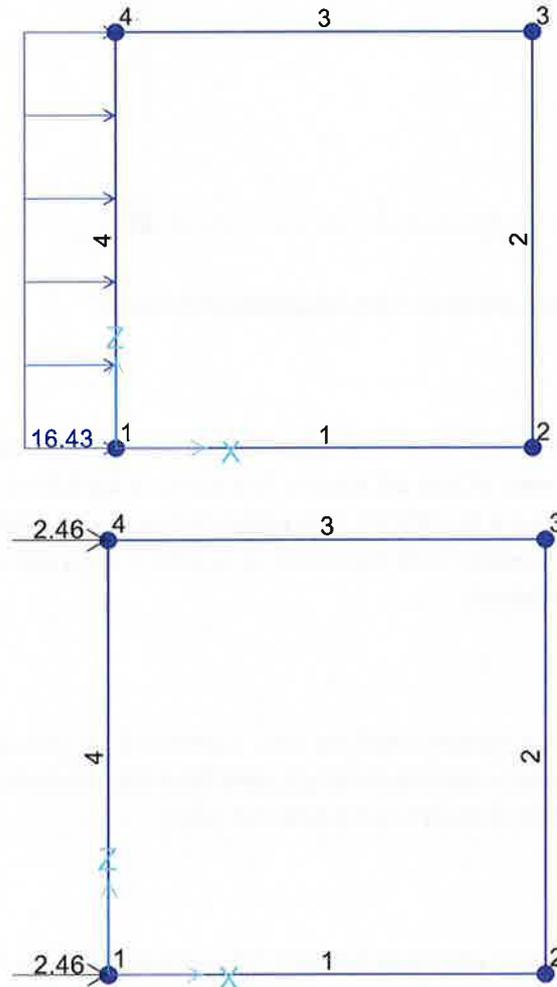


FIGURA 7-10: SOVRASPINTA DOVUTA AL CARICO FERROVIARIO (SPACCSX)

La spinta del sovraccarico a tergo del rilevato verrà considerata agente su un solo piedritto per massimizzare lo sbilanciamento e su entrambi i piedritti.

#### 7.4.6 Frenatura e avviamento (AVV)

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

$$Q_{1ak} = 33/Ld = 33/4.02 = 8.21 \quad \text{kN/mq}$$

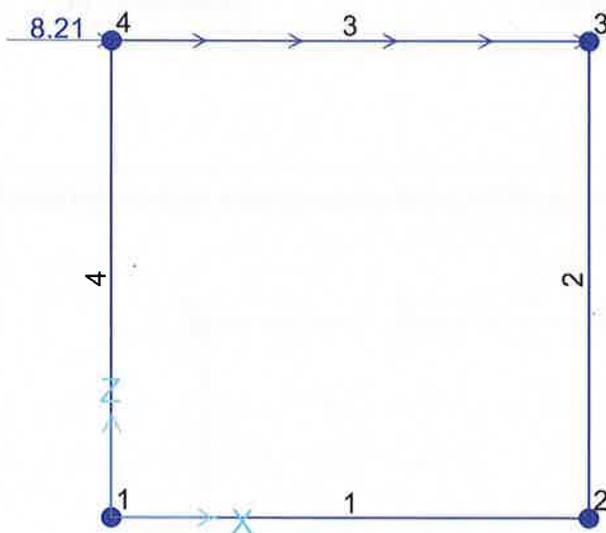


FIGURA 7-11: AZIONE DA FRENATURA/AVVIAMENTO (AVV)

#### 7.4.7 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a  $Q_{sk}=100$  kN. Tale valore deve essere moltiplicato per  $\alpha$ , (se  $\alpha > 1$ ), ma non per il coefficiente  $\Phi$ . Nel caso in esame, il serpeggio viene trascurato in quanto è un'azione che agisce lungo lo sviluppo longitudinale dello scatolare e non in senso trasversale.

#### 7.4.8 Azione termiche (TERM)

Alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a  $\Delta t = \pm 15^\circ\text{C}$  ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a  $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$ . Nel caso in cui la distanza tra piano ferro ed estradosso opera sia maggiore di 1.5 m è possibile trascurare gli effetti delle variazioni termiche (§3.12.1.2.2 del Ref. 12).

#### 7.4.9 Ritiro (RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a "lungo termine" attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nel Ref. 14 e nel Ref. 9. I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro, pari a  $\Delta T_{\text{equivalent}} = -10.0^\circ\text{C}$ .

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari  
d1500 - IN01, IN08**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 13 CL	IN 00 00 002	A	25 di 49

**Viscosità e ritiro (EC2-UNI EN 1992-1-1, NTC2008)**

**Caratteristiche del c.a. a tempo zero**

$R_{ck}$	=	37	[MPa]	Resistenza caratteristica cubica C32/40
$f_{ck}$	=	30	[MPa]	Resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	=	38	[MPa]	Resistenza cilindrica media del calcestruzzo
$E_{cm}=22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	=	32837	[MPa]	Modulo di elasticità del calcestruzzo (Table 3.1 EN 1992-1-1)
cement class	=	N	[-]	
$E_a$	=	210000	[MPa]	Modulo di elasticità dell'acciaio

**Tempo e ambiente**

$A_c$	=	0.3	[m <sup>2</sup> ]	Area della sezione in calcestruzzo
$u$	=	1	[m]	Perimetro della sezione esposto
$h_0$	=	600	[mm]	Dimensione convenzionale per calcolo ritiro
$k_h$	=	0.7	[-]	Coefficiente dipendente da $h_0$ (Table 3.3 EN 1992-1-1)
RH	=	75	[%]	Umidità relativa dell'ambiente
RH <sub>0</sub>	=	100	[%]	Umidità relativa massima
$t$	=	25550	[days]	Età del calcestruzzo 70 years = 70x365 days
$t_s$	=	2	[days]	Età del calcestruzzo all'inizio del ritiro igrometrico
$t_0$	=	28	[days]	Età del calcestruzzo al momento della messa in carico

**Coefficiente di viscosità e modulo elastico del calcestruzzo a tempo "t"**

$\varphi_{RH}$	=	1.275	[-]	Coefficiente per l'effetto dell'umidità relativa (Formula B.3a/B.3b EN 1992-1-1)
$\alpha_1$	=	0.944	[-]	Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo (Formula B.8c EN 1992-1-1)
$\alpha_2$	=	0.984	[-]	Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo (Formula B.8c EN 1992-1-1)
$\alpha_3$	=	0.960	[-]	Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo (Formula B.8c EN 1992-1-1)
$\beta(f_{cm})$	=	2.725	[-]	Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo (Formula B.4 EN 1992-1-1)
$\beta_H$	=	1275.0	[-]	Coefficiente dipendente dall'umidità relativa e dalla dimension convenzionale $h_0$ (Formula B.8a/B.8b EN 1992-1-1)
$\beta_c(t, t_0)$	=	0.9855	[-]	Coefficiente per lo sviluppo della viscosità nel tempo (Formula B.7 EN 1992-1-1)
$\alpha$	=	0	[-]	Coefficiente dipendente dalla classe di cemento (Annex B.1 EN 1992-1-1)
$t_T$	=	28.00	[days]	Formula B.10 EN 1992-1-1
$t_{0,mod}$	=	28.00	[days]	Età del calcestruzzo modificata (Formula B.9 EN 1992-1-1)
$\beta(t_0)$	=	0.488	[-]	Formula B.5 EN 1992-1-1 con $t_{0,mod}$
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	=	1.6976	[-]	Formula B.2 EN 1992-1-1
$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t, t_0)$	=	1.673	[-]	Coefficiente di viscosità (Formula B.1 EN 1992-1-1)
$E_{c-creep} = E_{cm} / (1 + \varphi(t, t_0))$	=	12285	[MPa]	Modulo di elasticità del calcestruzzo ridotto per effetto della viscosità

**Deformazione e ritiro**

$\epsilon_{ca,\infty}$	=	0.00005	[%o]	Deformazione da ritiro autogeno (Formula 3.12 EN 1992-1-1)
$\beta_{as}(t)$	=	1	[-]	Variation nel tempo del ritiro autogeno al tempo t (Formula 3.13 EN 1992-1-1)
$\epsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \epsilon_{ca,\infty}$	=	5E-05	[%o]	Ritiro autogeno al tempo t (Formula 3.11 EN 1992-1-1)
$f_{cm0}$	=	10	[MPa]	Coefficiente di resistenza del calcestruzzo
$\alpha_{sd1}$	=	4	[-]	Coefficiente dipendente dalla classe di cemento (Annex B.2 EN 1992-1-1)
$\alpha_{sd2}$	=	0.12	[-]	Coefficiente dipendente dalla classe di cemento (Annex B.2 EN 1992-1-1)
$\beta_{RH}$	=	0.89609375	[-]	Formula B.12 EN 1992-1-1
$\epsilon_{cd,0}$	=	0.000319	[-]	Formula B.11 EN 1992-1-2
$\beta_{ds}(t, t_s)$	=	0.977507	[-]	Formula 3.10 EN 1992-1-3
$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_h \epsilon_{cd,0}$	=	0.000218	[-]	Ritiro igrometrico al tempo t (Formula 3.9 EN 1992-1-1)
$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$	=	0.00026802	[-]	Ritiro totale
$\alpha_T$	=	0.00001	[-]	Coefficiente di espansione termica del calcestruzzo
$\Delta T_{equivalent}$	=	26.8	[°C]	Gradiente termico equivalente del calcestruzzo
$\Delta T_{equivalent}$	=	10.0	[°C]	Gradiente termico equivalente del calcestruzzo con l'effetto di viscosità

#### 7.4.10 Azione Sismica

L'effetto della dell'azione sismica sull'opera in oggetto è valutato mediante 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.

#### FORZE INERZIALI ASSOCIATE AL SISMA (SISMA\_H/ SISMA\_V)

Secondo le indicazioni riportate al §3.12.1.2.2 del Ref. 12, può essere trascurata la forza d'inerzia agente sulla fondazione, mentre le forze d'inerzia della metà superiore dei piedritti possono essere riportate in corrispondenza del solettone superiore.

Le forze sismiche sono date dalle seguenti relazioni:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

Dove W è il peso dell'elemento strutturale considerato.

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

$$G1 + G2 + \psi 2j Qkj$$

Dove nel caso specifico si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari  $\psi 2j = 0,2$ .

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

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

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

dove  $a_{max} = S_s \times S_t \times a_g$ . Il calcolo del valore di  $a_g$  è riportato al punto 5.5. Di seguito sono riportati i calcoli dei coefficienti sismici orizzontali e verticali.

#### Caratterizzazione dell'azione sismica

$V_N =$	75 anni	vita nominale
Cl.uso	ii -	classe d'uso
$C_U =$	1 -	coeff. d'uso
$V_R =$	75 anni	periodo di riferimento
$a_g =$	0.0556 g	accelerazione in sito
Terreno	Tipo A	
$F_0 =$	2.94 -	
$S_s =$	1 -	Coeff. di amplificazione stratigrafica
$S_t =$	1 -	Coeff. di amplificazione topografica
$a_{max} =$	0.056 g	accelerazione massima ( $S_s \times S_t \times a_g$ )
$k_h =$	0.056 -	coeff. sismico orizzontale ( $a_{max}/g$ )
$k_v =$	0.028 +/-	coeff. sismico verticale ( $0.5 \times a_{max}/g$ )

Le forze inerziali associate al sisma risultano pertanto:

**Soletta superiore**

Carico variabile LM71 totale agente	99.2 kN/m
Carico variabile SW/2 totale agente	86.6 kN/m
<b>LM71</b>	<b>99.2 kN/m</b>

**Sisma orizzontale (SISMA\_H)**

Azione inerziale peso proprio	0.42 kN/mq
Azione inerziale carico permanente	1.61 kN/mq
Azione inerziale carico variabile	0.55 kN/mq

**Forza orizzontale totale (F'h)** **2.58 kN/mq**

**Sisma verticale (SISMA\_V)**

Azione inerziale peso proprio	0.21 kN/mq
Azione inerziale carico permanente	0.81 kN/mq
Azione inerziale carico variabile	0.29 kN/mq

**Forza verticale totale (F'v)** **1.31 kN/mq**

**Piedritti**

**Sisma orizzontale (SISMA\_H)**

Azione inerziale peso proprio	0.42 kN/mq
-------------------------------	------------

**Forza orizzontale totale (F'h)** **0.42 kN/mq**

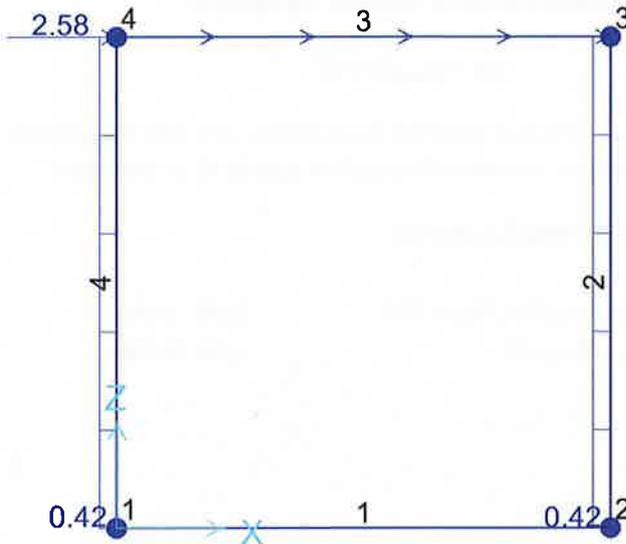


FIGURA 7-12: AZIONE STATICA EQUIVALENTE SISMA ORIZZONTALE (SISMA\_H)

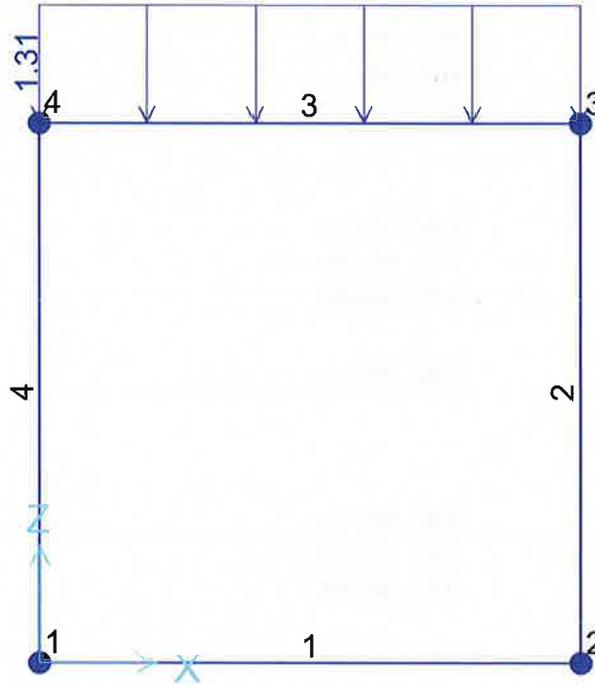


FIGURA 7-13: AZIONE STATICA EQUIVALENTE SISMA VERTICALE (SISMA\_V)

#### SPINTA SISMICA TERRENO SPSPDX E SPSSX

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovraspinta sismica è calcolata secondo la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

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

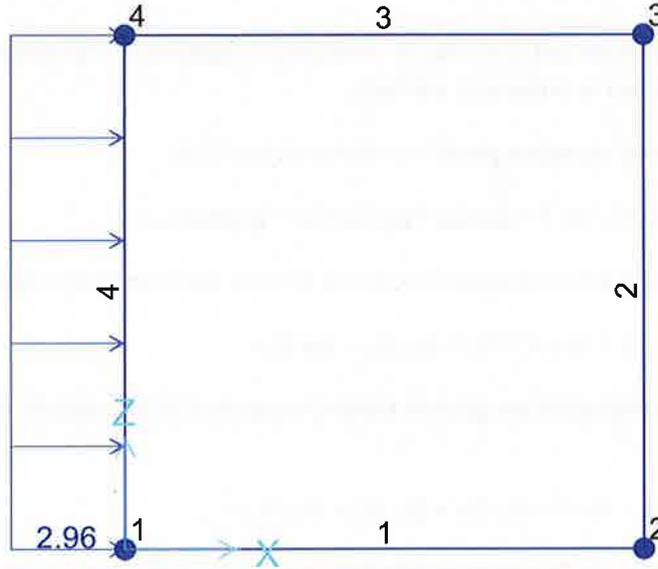
Tale risultante, applicata ad un'altezza pari ad H/2, sarà considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera. Nel modello di calcolo viene applicato il valore della forza sismica per unità di superficie agente su un piedritto:

#### Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX e SPSSX)

Risultante della spinta sismica	$\Delta S_{s,e,dx} = a_{max}/g \cdot \gamma_t (H_{int} + S_s + S_f)^2$	5.98 kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_{s,e,dx} = \Delta S_{s,e,dx} / H$	2.96 kN/mq

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari  
d1500 - IN01, IN08**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 13 CL	IN 00 00 002	A	29 di 49



**FIGURA 7-14: SPINTA DEL TERRENO IN FASE SISMICA**

## 7.5 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si riportano per comodità le combinazioni delle azioni riportate nelle NTC2008 di cui al Ref. 9 alla quale è possibile fare riferimento per la simbologia adottata:

– 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:

$$E = \pm 1.00 \times E_y \pm 0.30 \times E_z \text{ oppure } E = \pm 0.30 \times E_y \pm 1.00 \times E_z$$

avendo indicato con  $E_y$  e  $E_z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$ :

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

### 7.5.1 Coefficienti di combinazione

Sono prese in considerazione le seguenti verifiche agli stati limite ultimi:

#### 1. SLU di tipo strutturale (STR), relative a condizioni di:

Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

In questo paragrafo si riportano i coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$ .

Per il calcolo della struttura dello scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Per i coefficienti di combinazione  $\psi$ , si fa riferimento ai valori riportati nelle tabelle 5.2.VI e 5.2.VII. Le tabelle 5.2.V, 5.2.VI e 5.2.VII sono riportate nel seguito.

		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

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

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.

<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

**FIGURA 7-15: COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA PER LE COMBINAZIONI DI CARICO AGLI SLU, ECCEZIONALI E SISMICA (TABELLA 5.2.V NTC 2008)**

Nella Tab. 5.2.V (Figura 7-15) il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_B$  coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

Gli effetti prodotti da ritiro e viscosità, cedimenti e coazioni non imposti appositamente a livello progettuale devono essere trattati assumendo nel caso di contributo sfavorevole  $\gamma$  pari a 1,20 per la combinazione EQU, A1 STR, e  $\gamma$  pari a 1,00 per le combinazioni A2 GEO. Gli effetti favorevoli prodotti dalle cause di che trattasi devono essere trascurati in tutte le combinazioni previste in tabella, assumendo nel caso di contributo favorevole  $\gamma$  pari a 0.

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	F <sub>Wk</sub>	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T <sub>k</sub>	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 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.

**FIGURA 7-16: COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE  $\Psi$  DELLE AZIONI (TABELLA 5.2.VI NTC 2008).**

	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	0,0 <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.

**FIGURA 7-17: ULTERIORI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE  $\Psi$  DELLE AZIONI (TABELLA 5.2.VII NTC 2008)**

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del Ref. 9 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

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

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc..)

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

**FIGURA 7-18: VALUTAZIONE DEI CARICHI DA TRAFFICO (TABELLA 5.2.IV NTC 2008)**

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III (Figura 7-19) vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati. I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come  $Q_{ki}$ .

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante <sup>(2)</sup>
		caso a <sup>(1)</sup>	caso b <sup>(1)</sup>	
1	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0'')	-	1,0 SW/2
	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0'')	-	1,0 SW/2
2	secondo	1,0 (LM 71''+"SW/0'')	-	1,0 (LM 71''+"SW/0'')
	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0'')	0,75 (LM 71''+"SW/0'')	1,0 SW/2
≥ 3	secondo	1,0 (LM 71''+"SW/0'')	0,75 (LM 71''+"SW/0'')	1,0 (LM 71''+"SW/0'')
	Altri	-	0,75 (LM 71''+"SW/0'')	-

**FIGURA 7-19: CARICHI MOBILI IN FUNZIONE DEL NUMERO DI BINARI PRESENTI SUL PONTE (TABELLA 5.2.III NTC2008)**

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente  $\psi_2 = 0.2$  (punto 3.2.4 del Ref. 9) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

7.5.2 Combinazioni SLU/SLV/SLE

Le azioni descritte nel Capitolo 7.4 ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Peso proprio	PP
Carichi permanenti	PERM
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Carico variabile LM71	ACCM
Spinta del carico acc. (LM71)Sulla parete Sx	SPACCSX
Spinta del carico acc. (LM71)Sulla parete Dx	SPACCDX
Avviamento e frenatura	AVV
Variazione termica sulla soletta superiore	TERM
Ritiro	RITIRO
Azione sismica orizzontale	Sisma H
Azione sismica Verticale	Sisma V
Incremento sismico della spinta sul terreno Dx	SPSDX
Incremento sismico della spinta sul terreno Sx	SPSSX

Si riportano di seguito le combinazioni:

- Allo stato limite ultimo (SLU) di carico ritenute più significative in base all'esperienza;
- Allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni sisma orizzontale vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni sisma verticale per Sisma V=-0.3;
- le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative, in combinazione rara per le verifiche a fessurazione.

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari  
 d1500 - IN01, IN08**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 13 CL	IN 00 00 002	A	35 di 49

COMBO	PP	PERM	SPTSX	SPTDX	ACCM	SPACCSX	SPACCDX	AVV	TERM	RITIRO	Sisma H	Sisma V	SPSDX	SPSSX
SLU01	1.35	1.5	1	1	1.45	1.45	0	1.45	0	0	0	0	0	0
SLU02	1.35	1.5	1	1	1.45	0	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0
SLU03	1.35	1.5	1	1	1.45	0	0	1.45	0	0	0	0	0	0
SLU04	1.35	1.5	1.35	1	1.45	1.45	0	1.45	0	0	0	0	0	0
SLU05	1.35	1.5	1.35	1.35	1.45	1.45	0	1.45	0	0	0	0	0	0
SLU06	1.35	1.5	1.35	1.35	0	1.45	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU07	1.35	1.5	1.35	1	1.45	1.45	0	1.45	-0.9	0	0	0	0	0
SLU08	1	1	1.35	1	0	1.45	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU09	1.35	1.5	1.35	1	1.45	1.45	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0
SLU10	1.35	1.5	1	1.35	1.45	0	1.45	0	-0.9	1.2	0	0	0	0
SLU11	1.35	1.5	1	1.35	1.16	1.16	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0
SLU12	1.35	1.5	1	1.35	1.16	1.16	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0
SLV01	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	0	1
SLV02	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	0	1
SLV03	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	-1	0.3	1	0
SLV04	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	-1	-0.3	1	0
SLV05	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0	0.3
SLV06	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0	0.3
SLV07	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	-0.3	1	0.3	0
SLV08	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	-0.5	1	-0.3	-1	0.3	0
SLE-RARA01	1	1	1	1	0.8	0.8	0.8	-0.8	-0.6	0	0	0	0	0
SLE-RARA02	1	1	1	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0
SLE-RARA03	1	1	1	1	0.8	0.8	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0

**FIGURA 7-20: COMBINAZIONI DI CARICO**

## 7.6 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Le analisi sono state condotte con l'ausilio di un codice di calcolo agli elementi finiti, il SAP 2000 (Ref. 16). Il modello di calcolo adottato è illustrato al punto 7.1 della presente relazione.

Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte al punto 7.5, le sollecitazioni complessive agenti sugli elementi strutturali al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle Normative di riferimento.

### 7.6.1 Risultati Analisi Strutturali

Si riportano di seguito i diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni per l'involuppo delle combinazioni di carico SLU/SLV:

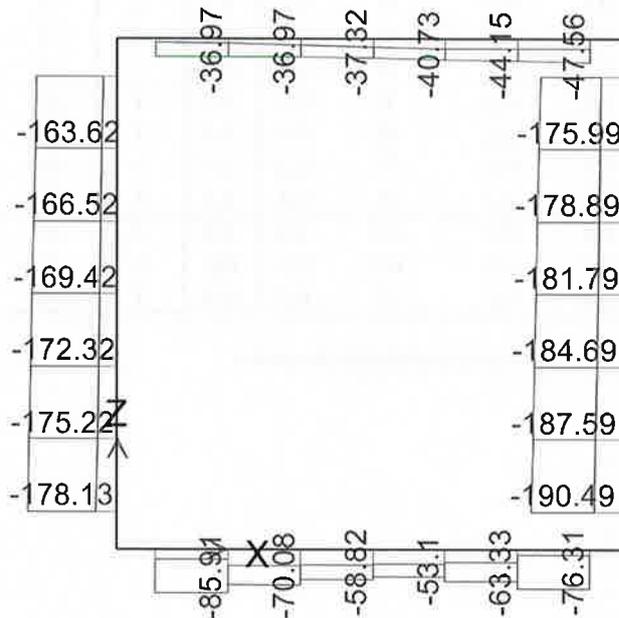


FIGURA 7-21: SFORZO NORMALE - INVILUPPO SLU/SLV

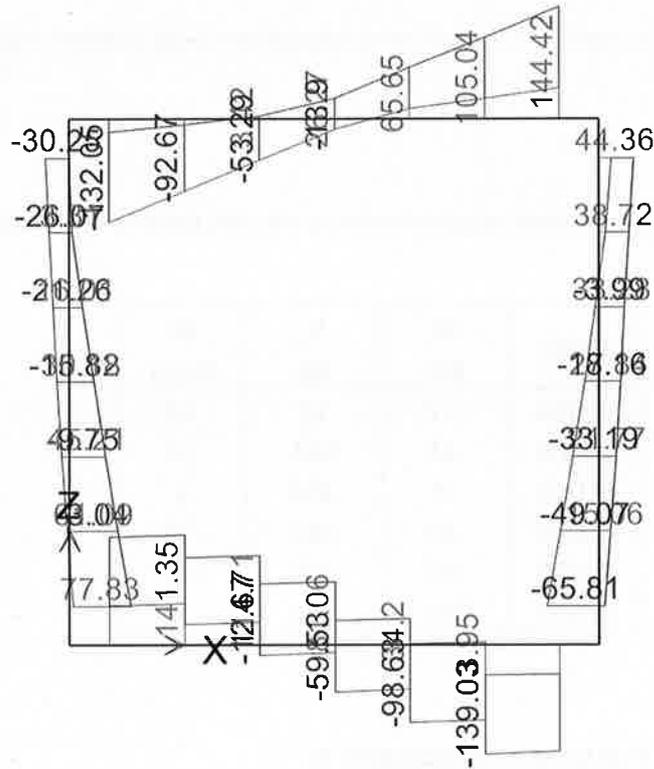


FIGURA 7-22: TAGLIO - INVILUPPO SLU/SLV

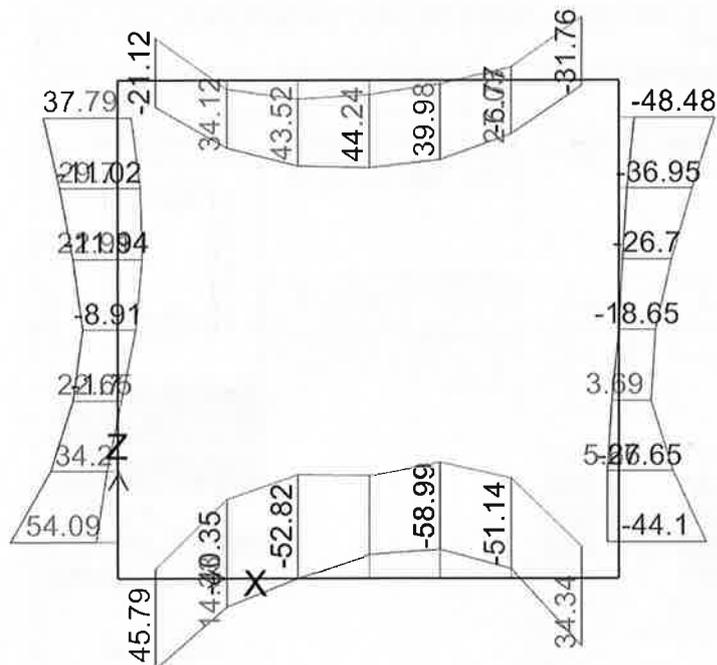


FIGURA 7-23: MOMENTO FLETTENTE - INVILUPPO SLU/SLV

## 7.7 VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito vengono riportate le verifiche allo SLU e le verifiche di fessurazione degli elementi principali dello scatolare: soletta superiore, piedritti e soletta inferiore.

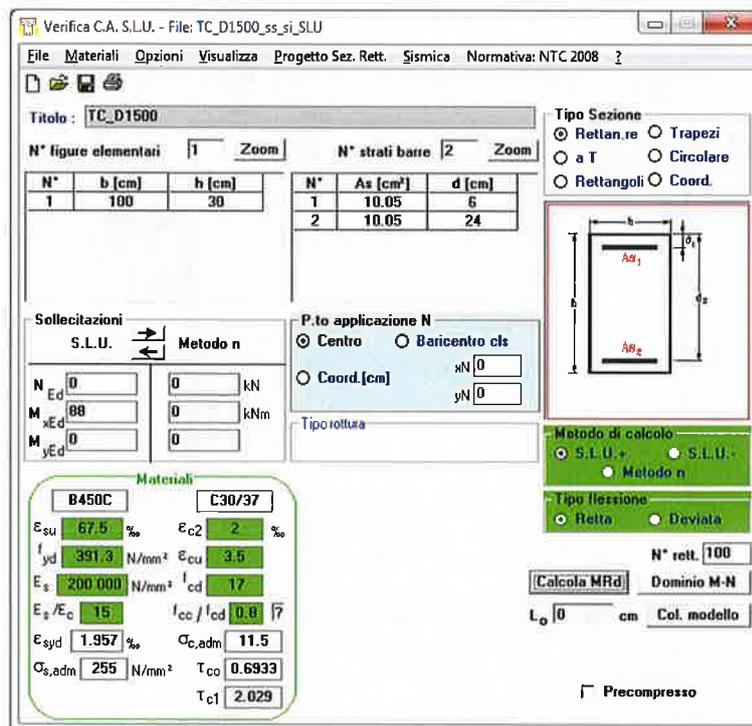
### 7.7.1 Soletta Superiore

In tabella sono riportati i valori delle sollecitazioni maggiormente significative desunte dai tabulati del programma di calcolo utilizzato.

Comb	N	V	M
	KN	KN	KN-m
SLU02	-17	12	44
SLU04	-44	144	-32
SLU02	-7	-106	4
SLU05	-48	142	-30
SLU10	-34	-132	-21
SLU04	-44	144	-32

## VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

Si considera la sezione resistente riportata in Figura 7-24, armata all'estradosso con  $\phi 16/20''$  e all'intradosso con  $\phi 16/20''$ .



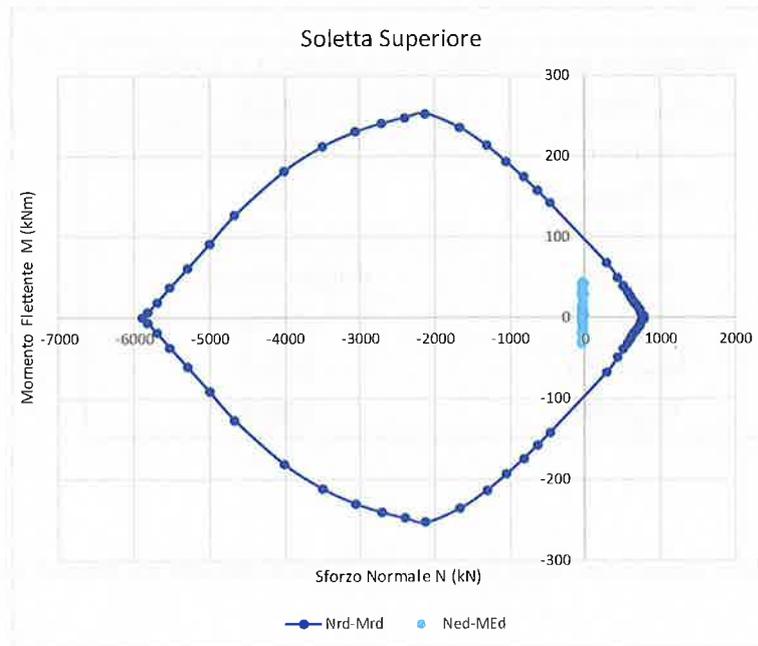
The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The title bar indicates the file 'TC\_D1500\_ss\_si\_SLU'. The main window contains several panels:

- Titolo:** TC\_D1500
- N° figure elementari:** 1 (Zoom)
- N° strati barre:** 2 (Zoom)
- Table of Section Properties:**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	10.05	6
			2	10.05	24
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n. Values: N<sub>Ed</sub>=0, M<sub>Ed</sub>=88, M<sub>yEd</sub>=0.
- P.to applicazione N:** Centro. Values: xN=0, yN=0.
- Materiali:** B450C and C30/37. Properties:  $\epsilon_{su}$  67.5%,  $f_{yd}$  391.3 N/mm²,  $E_s$  200 000 N/mm²,  $E_c/E_c$  15,  $\epsilon_{c2}$  2%,  $\epsilon_{cu}$  3.5%,  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8,  $\bar{f}$  17,  $\epsilon_{syd}$  1.957%,  $q_{c,adm}$  11.5,  $C_{s,adm}$  255 N/mm²,  $T_{co}$  0.6933,  $T_{c1}$  2.029.
- Tipo Sezione:** Rettan.re, a T, Rettangoli, Coord.
- Metodo di calcolo:** S.L.U., Metodo n.
- Tipo flessione:** Retta, Deviata.
- N° rett.:** 100
- Calcola MRd:** Dominio M-N
- L<sub>0</sub>:** 0 cm
- Col. modello:**
- Precompresso:**

FIGURA 7-24: SEZIONE RESISTENTE SOLETTA SUPERIORE

In Figura 7-25 si riporta la verifica grafica a pressoflessione per tutte le combinazioni di carico allo SLU/SLV e per tutte le sezioni della soletta superiore, che risulta soddisfatta.



**FIGURA 7-25: DOMINIO DI INTERAZIONE M-N SOLETTA SUPERIORE**

**VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: TAGLIO**

La resistenza a taglio di tutte le sezioni senza armatura specifica è riportata nella tabella seguente.

Dati		
b (mm)	1000.0	larghezza dell'anima resistente a taglio
h (mm)	300.0	altezza della sezione
d (mm)	240.0	altezza utile
$f_{ck}$ (MPa)	30.0	resistenza caratt. a compressione del calcestruzzo
$f_{yd}$ (MPa)	391.0	resistenza di progetto dell'acciaio
$f_{cd}$ (MPa)	17.00	resistenza di progetto del calcestruzzo
$f'_{cd}$ (MPa)	8.50	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
$A_{sl}$ (mmq)	1005.0	armatura longitudinale
k	1.91	fattore di ingranamento
$v_{min}$	0.51	tensione resistente minima
$\rho_l$	0.0042	rapporto geom. di armatura longit.
$N_{Ed}$ (N)	0.0	sforzo di compressione di progetto nella sezione
$\sigma_{cp}$ (MPa)	0.00	tensione media di compressione nella sezione
$\alpha_c$	1.00	coefficiente maggiorativo

Resist. a taglio dell'elemento non armato e armatura minima		
$V_{Rd}$ (KN)	128.1	resist. a taglio della trave in assenza di apposita armatura
$A_{smin}$ (mmq/m)	1500	armatura minima a taglio (4.1.6.1.1)

Le azioni taglianti allo SLU sono tali da richiedere armatura aggiuntiva specifica nelle sezioni di maggiore sollecitazione. Si dispongono come armature a taglio **5 Spille  $\varnothing 12/20$ " per ogni metro di struttura**. Come riportato nella tabella seguente la verifica risulta soddisfatta.

<b>Resist. a taglio della trave armata a taglio</b>	
$A_{st}$ (mmq)	565.0
s (mm)	200.0
$ctg\theta_{calcolato}$	2.588
$ctg\theta$	1.00
Rottura	duttile lato acc
$V_{Rd3}$ (kN)	238.6
$V_{Rd2}$ (kN)	918.0
<b><math>V_{Rd}</math> (kN)</b>	<b>238.6</b>

#### 7.7.2 Piedritti

In tabella sono riportati i valori delle sollecitazioni maggiormente significative desunte dai tabulati del programma di calcolo utilizzato.

Comb	N	V	M	Frame
	KN	KN	KN-m	
SLU04	-138	78	54	4
SLU04	-173	42	-48	2
SLU04	-190	8	-2	2
SLU08	-28	-22	-6	4
SLU10	-150	-66	-44	2
SLU04	-138	78	54	4

#### VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

Si considera la sezione resistente riportata in Figura 7-26, armata con un'armatura doppia dove sono previsti dei  **$\varnothing 16/20$ "** esterni e dei  **$\varnothing 12/20$ "** interni (per maggior chiarezza si rimanda alla Figura 7-23).

Verifica C.A. S.L.U. - File: TC\_D1500\_pied\_SLU

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

Titolo: TC\_D1500

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	5.65	6
			2	10.05	24

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN  
M yEd 88 kNm  
M yEd 0 kNm

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

Tipo rottura

Materiali

B450C	C30/37
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$I_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$I_{cd}$ 17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8 [?]
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 11.5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{cc}$ 0.6933
	$\tau_{c1}$ 2.029

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

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

[Calcola MRd] Dominio M-N

$L_0$  0 cm Col. modello

Precompresso

FIGURA 7-26: SEZIONE RESISTENTE PIEDRITTI

In Figura 7-27 si riporta la verifica grafica a pressoflessione per tutte le combinazioni di carico allo SLU/SLV e per tutte le sezioni dei piedritti, che risulta soddisfatta.

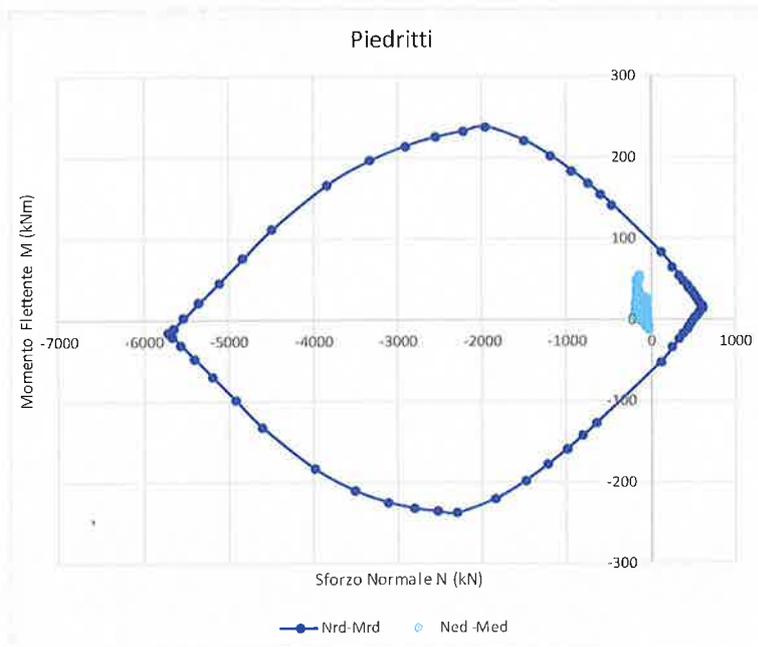


FIGURA 7-27: DOMINIO DI INTERAZIONE M-N PIEDRITTI

**VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: TAGLIO**

La resistenza a taglio di tutte le sezioni senza armatura specifica è riportata nella tabella seguente.

<b>Dati</b>		
b (mm)	1000.0	larghezza dell'anima resistente a taglio
h (mm)	300.0	altezza della sezione
d (mm)	240.0	altezza utile
$f_{ck}$ (MPa)	30.0	resistenza caratt. a compressione del calcestruzzo
$f_{yd}$ (MPa)	391.0	resistenza di progetto dell'acciaio
$f_{cd}$ (MPa)	17.00	resistenza di progetto del calcestruzzo
$f'_{cd}$ (MPa)	8.50	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
$A_{sl}$ (mmq)	565.0	armatura longitudinale
k	1.91	fattore di ingranamento
$v_{min}$	0.51	tensione resistente minima
$\rho_l$	0.0024	rapporto geom. di armatura longit.
$N_{Ed}$ (N)	0.0	sfuerzo di compressione di progetto nella sezione
$\sigma_{cp}$ (MPa)	0.00	tensione media di compressione nella sezione
$\alpha_c$	1.00	coefficiente maggiorativo

<b>Resist. a taglio dell'elemento non armato e armatura minima</b>		
$V_{Rd}$ (KN)	121.7	resist. a taglio della trave in assenza di apposita armatura
$A_{smin}$ (mmq/m)	1500	armatura minima a taglio (4.1.6.1.1)

Le azioni taglianti allo SLU non sono tali da richiedere armatura aggiuntiva specifica nelle sezioni di maggiore sollecitazione.

7.7.3 Soletta Inferiore

In tabella sono riportati i valori delle sollecitazioni maggiormente significative desunte dai tabulati del programma di calcolo utilizzato.

Comb	N	V	M
	KN	KN	KN-m
SLU04	-42	34	-59
SLU04	-86	138	46
SLU04	-86	138	46
SLU04	-11	-122	-51
SLU10	-76	-139	-5
SLU04	-86	141	6

VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

Si considera la sezione resistente riportata in Figura 7-28, armata con un'armatura doppia simmetrica  $\varnothing 16/20''$ .

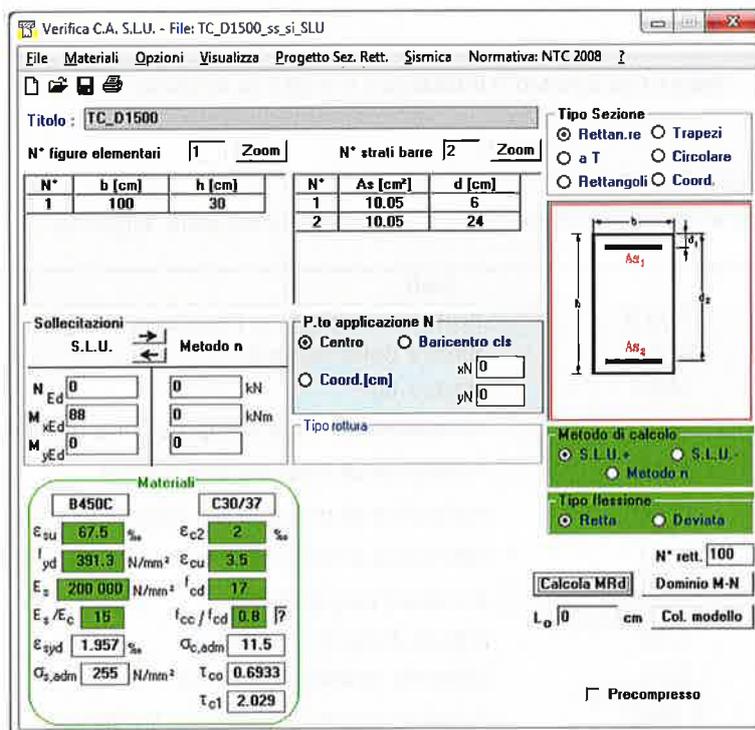
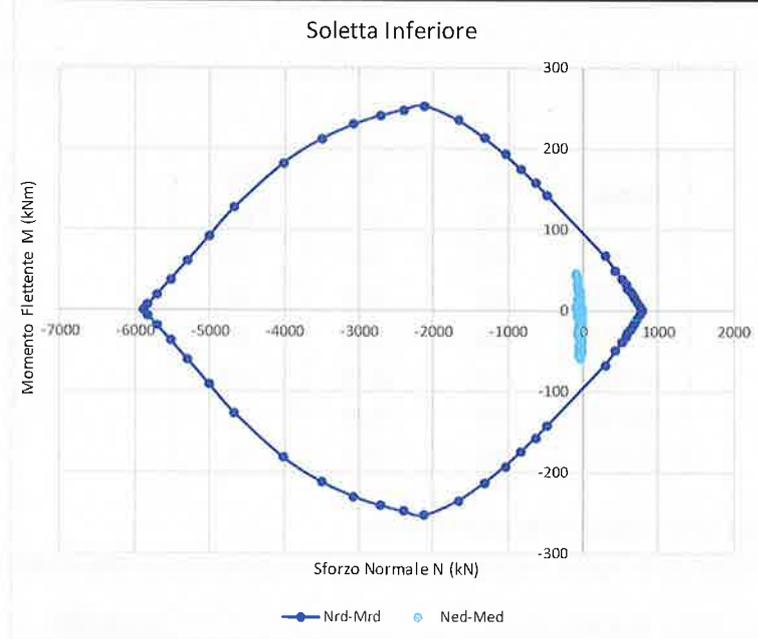


FIGURA 7-28: SEZIONE RESISTENTE SOLETTA INFERIORE

In Figura 7-29 si riporta la verifica grafica a pressoflessione per tutte le combinazioni di carico allo SLU/SLV e per tutte le sezioni della soletta inferiore, che risulta soddisfatta.



**FIGURA 7-29: DOMINIO DI INTERAZIONE M-N SOLETTA INFERIORE**

**VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: TAGLIO**

La resistenza a taglio di tutte le sezioni senza armatura specifica è riportata nella tabella seguente.

Dati		
b (mm)	1000.0	larghezza dell'anima resistente a taglio
h (mm)	300.0	altezza della sezione
d (mm)	240.0	altezza utile
$f_{ck}$ (MPa)	30.0	resistenza caratt. a compressione del calcestruzzo
$f_{yd}$ (MPa)	391.0	resistenza di progetto dell'acciaio
$f_{cd}$ (MPa)	17.00	resistenza di progetto del calcestruzzo
$f'_{cd}$ (MPa)	8.50	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
$A_{sI}$ (mmq)	1005.0	armatura longitudinale
k	1.91	fattore di ingranamento
$v_{min}$	0.51	tensione resistente minima
$\rho_l$	0.0042	rapporto geom. di armatura longit.
$N_{Ed}$ (N)	0.0	sfuerzo di compressione di progetto nella sezione
$\sigma_{cp}$ (MPa)	0.00	tensione media di compressione nella sezione
$\alpha_c$	1.00	coefficiente maggiorativo

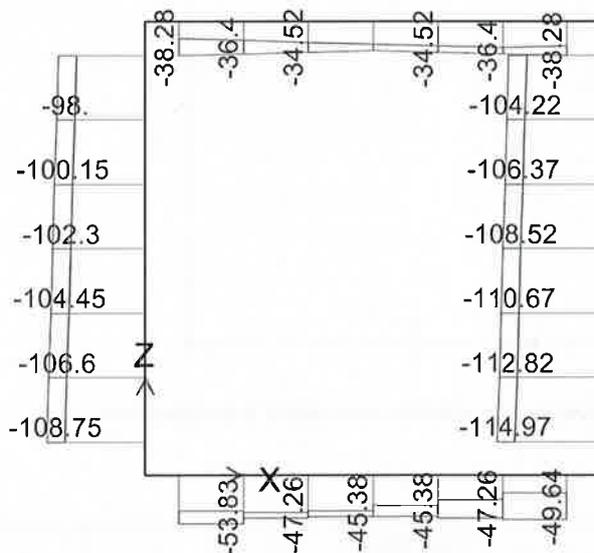
Resist. a taglio dell'elemento non armato e armatura minima		
$V_{Rd}$ (KN)	128.1	resist. a taglio della trave in assenza di apposita armatura
$A_{smin}$ (mmq/m)	1500	armatura minima a taglio (4.1.6.1.1)

Le azioni taglianti allo SLU sono tali da richiedere armatura aggiuntiva specifica nelle sezioni di maggiore sollecitazione. Si dispongono come armature a taglio **5 Spille Ø12/20"** per ogni metro di struttura. Come riportato nella tabella seguente la verifica risulta soddisfatta.

<b>Resist. a taglio della trave armata a taglio</b>	
$A_{st}$ (mmq)	565.0
s (mm)	200.0
$ctg\theta_{calcolato}$	2.588
$ctg\theta$	1.00
Rottura	duttile lato acc
$V_{Rd3}$ (kN)	238.6
$V_{Rd2}$ (kN)	918.0
<b><math>V_{Rd}</math> (kN)</b>	<b>238.6</b>

#### 7.7.4 Verifica allo SLE: Fessurazione

Per le verifiche agli stati limite di esercizio si riporta nel presente paragrafo quella dello stato limite di fessurazione. L'andamento dell'involuppo delle sollecitazioni agli SLE, riferite alla combinazione RARA, è riportato nella Figura 7-30 e Figura 7-31. Le sollecitazioni ritenute più significative per la verifica agli SLE sono riassunte nella Figura 7-33 e sono riferite alle sezioni rappresentate in Figura 7-32.



**FIGURA 7-30: SFORZO NORMALE - INVILUPPO SLE-RARA**

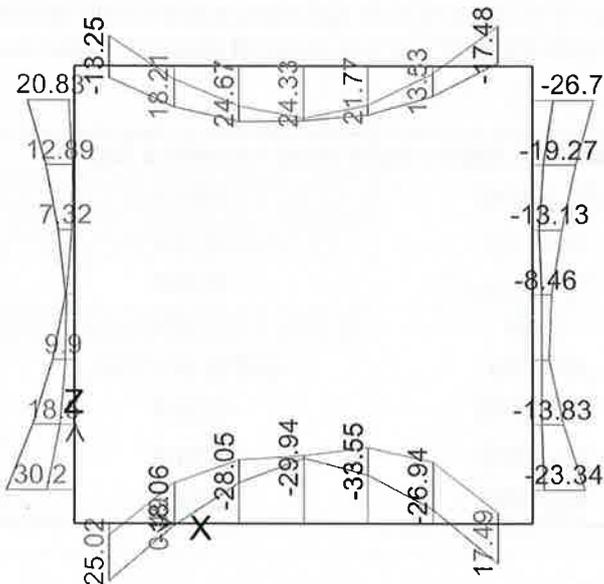


FIGURA 7-31: MOMENTO FLETTENTE - INVILUPPO SLE-RARA

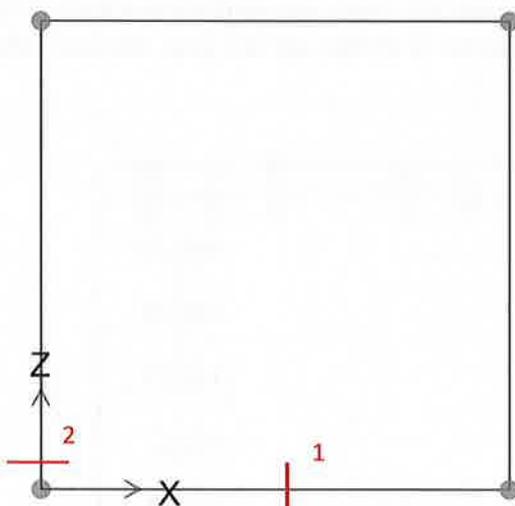


FIGURA 7-32: SEZIONI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE A FESSURAZIONE

Sezione	Altezza H (cm)	Larghezza B (cm)	Copriferr o c (cm)	Alt. Utile d (cm)	Mmax kN m	Ncorrisp kN
1	30	100	6	24	-27	-20
2	30	100	6	24	30	-89

FIGURA 7-33: SOLLECITAZIONI MASSIME AGLI SLE

Per la verifica a fessurazione si controlla dapprima che per le combinazioni di carico presenti non venga superato lo stato limite di formazione delle fessure. Se tale stato limite viene superato si procede con la verifica a fessurazione per verificare lo stato limite di apertura delle fessure.

Per lo stato limite di formazione delle fessure si verifica per la combinazione di azioni caratteristica che la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata sia minore di  $\sigma_t = f_{ctm}/1.2$ , che per il calcestruzzo in esame C30/37 risulta pari a 2.896 MPa.

Per eseguire le verifiche a fessurazione del cemento armato si individua come classe di esposizione del calcestruzzo la XA1 (Si veda il capitolo 4 della presente relazione). Tale classe di esposizione rientra nelle condizioni ambientali Aggressive come desumibile dalla tabella 4.1.III delle NTC 2008. La struttura è realizzata con c.a. ordinario e si utilizza pertanto un'armatura definita poco sensibile.

A seguito delle condizioni di seguito riassunte:

- Combinazione rara
- Armatura poco sensibile
- Ambiente aggressivo

secondo quanto riportato nei manuali RFI per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari (Ref. 12):

$\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel §4.1.2.2.4.3 del Ref. 9, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per tutte le zone non ispezionabili;

$\delta_f \leq w_2$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del Ref. 9;

risulta un valore limite dell'apertura delle fessure pari a  $w_1=0.20$  mm.

Per quanto riguarda la sezione 1, lo stato limite di formazione delle fessure non viene superato (Figura 7-34). La verifica di fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

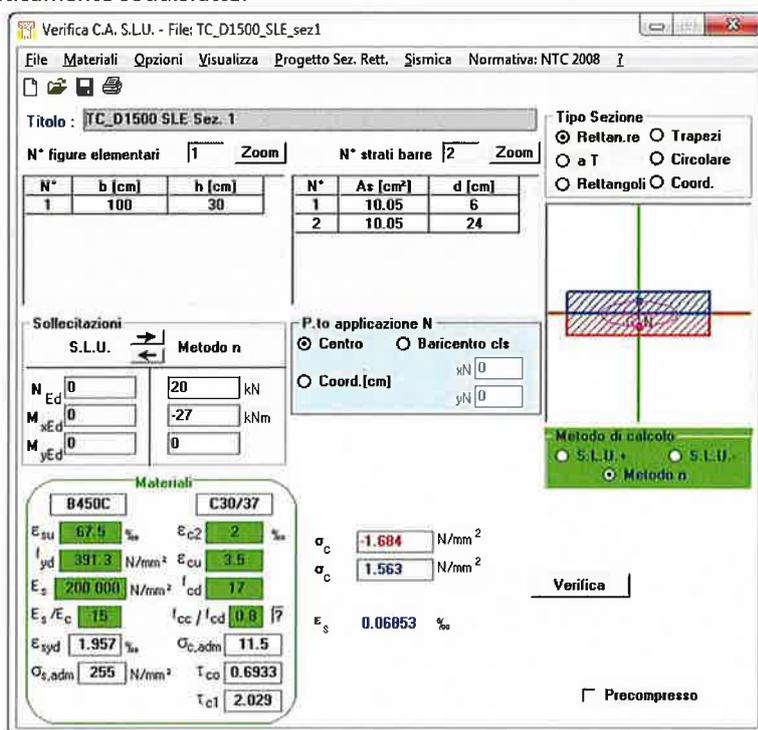


FIGURA 7-34: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NEL CALCESTRUZZO PER LA SEZIONE 1

Nella Sezione 2, lo stato limite di formazione delle fessure non viene superato (Figura 7-35). La verifica di fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

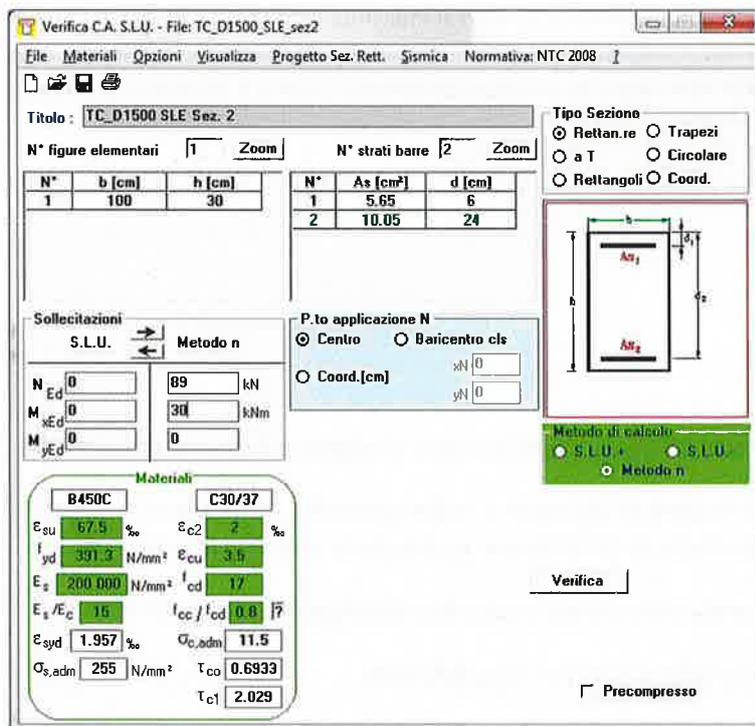


FIGURA 7-35: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NEL CALCESTRUZZO PER LA SEZIONE 2

## 7.8 VERIFICHE GEOTECNICHE

Data la natura litoide dei materiali del terreno di fondazione e considerata l'entità modesta dei carichi trasmessi in fondazione, la **verifica di capacità portante** viene omessa.

## 8 INCIDENZA ARMATURA

In questo paragrafo sono riassunti i valori delle incidenze delle armature per lo scatolare del tombino.

### 8.1 SCATOLARE

I valori delle incidenze di armature lenta sono indicati nella seguente tabella:

Soletta superiore: 90 kg/mc

Piedritti: 80 kg/mc

Soletta inferiore: 90 kg/mc

La media pesata dell'incidenza di armatura lenta sull'intero scatolare è pari a: **90 kg/mc**

	Numero	Spessore (m)	Lunghezza (m)	Volume (mc/m)	Armatura Trasversale						Armatura Longitudinale						Incidenza (kg/mc)		
					Armatura	Ø (mm)	N <sub>barre/m</sub>	Area (mm <sup>2</sup> )	Peso 1 barra (kg/m)	Coeff. Maggiorativo	Peso armatura (kg)	Armatura	Ø (mm)	N <sub>barre/m</sub>	Area (mm <sup>2</sup> )	Peso 1 barra (kg/m)		Coeff. Maggiorativo	Peso armatura (kg)
Soletta inferiore	1	0.3	2.32	0.696	Ø16/20	16	5	1005	1.58	1.10	9	Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	90
					Ø16/20	16	5	1005	1.58	1.10	9	Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	
Piedritti	2	0.3	1.72	1.032	Ø16/20	16	5	1005	1.58	1.10	9	Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	80
					Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	
Soletta superiore	1	0.3	2.32	0.696	Ø16/20	16	5	1005	1.58	1.10	9	Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	90
					Ø16/20	16	5	1005	1.58	1.10	9	Ø12/20	12	5	565	0.89	1.10	5	

Nel calcolo è stata considerata un'armatura longitudinale diffusa secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale, come previsto dal Ref. 7 per piastre a portanza unidirezionale. Inoltre, è stato previsto un incremento del 10% per tener conto della presenza di ligature, spille e sovrapposizioni.

