

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI - OLBIA

VARIANTE DI BAULADU

INTERFERENZE IDRAULICHE

Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari 2.0X2.0 - IN01,IN03

SCALA:

-

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

RR0H 01 D 13 CL IN0000 003 A

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

File: RR0H01D13CLIN0000003A.doc

n. Elab.

299

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 4 |
| 2 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA..... | 5 |
| 2.1 | DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO..... | 5 |
| 2.2 | NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO | 5 |
| 2.3 | SOFTWARE | 5 |
| 3 | DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA..... | 6 |
| 3.1 | TOMBINI 2 X 2 | 6 |
| 4 | MATERIALI | 8 |
| 4.1 | ACCIAIO..... | 8 |
| 4.1.1 | <i>Acciaio per armatura strutture in c.a.</i> | <i>8</i> |
| 4.2 | CALCESTRUZZO | 8 |
| 4.2.1 | <i>Calcestruzzo magro e getto di livellamento</i> | <i>8</i> |
| 4.2.2 | <i>Calcestruzzo tombini scatolari (compresi muri d'ala)</i> | <i>8</i> |
| 5 | CRITERI PROGETTUALI..... | 9 |
| 5.1 | VELOCITÀ DI PROGETTO DELLA LINEA | 9 |
| 5.2 | CATEGORIA DI LINEA | 9 |
| 5.3 | VITA NOMINALE | 9 |
| 5.4 | CLASSE D'USO..... | 9 |
| 5.5 | AZIONE SISMICA | 10 |
| 6 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 11 |
| 7 | DIMENSIONAMENTO SCATOLARE | 12 |
| 7.1 | MODELLAZIONE STRUTTURALE | 12 |
| 7.2 | INTERAZIONE TERRENO-FONDAZIONE | 13 |
| 7.3 | EFFETTI DINAMICI | 13 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7.4 | ANALISI DEI CARICHI..... | 16 |
| 7.4.1 | Peso proprio (PP)..... | 16 |
| 7.4.2 | Permanenti portati (PERM)..... | 16 |
| 7.4.3 | Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX)..... | 17 |
| 7.4.4 | Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (ACCM) | 19 |
| 7.4.5 | Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico da traffico ferroviario (SPACCSX e SPACCDX)..... | 21 |
| 7.4.6 | Frenatura e avviamento (AVV)..... | 22 |
| 7.4.7 | Serpeggio | 23 |
| 7.4.8 | Azione termiche (TERM)..... | 23 |
| 7.4.9 | Ritiro (RITIRO) | 23 |
| 7.4.10 | Azione Sismica..... | 25 |
| 7.5 | COMBINAZIONI DI CARICO..... | 29 |
| 7.5.1 | Coefficienti di combinazione | 29 |
| 7.5.2 | Combinazioni SLU/SLV/SLE | 33 |
| 7.6 | CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI | 35 |
| 7.6.1 | Risultati Analisi Strutturali | 35 |
| 7.7 | VERIFICHE STRUTTURALI | 37 |
| 7.7.1 | Soletta Superiore..... | 37 |
| 7.7.2 | Piedritti | 39 |
| 7.7.3 | Soletta Inferiore | 42 |
| 7.7.4 | Verifica allo SLE: Fessurazione | 44 |
| 7.8 | VERIFICHE GEOTECNICHE | 57 |
| 8 | INCIDENZA ARMATURA | 57 |
| 8.1 | SCATOLARE | 57 |

1 PREMESSA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche dei tombini ferroviari scatolari tipo 2 x 2 m della Variante Bauladu, nell'ambito della progettazione definitiva dell'itinerario San Gavino – Sassari – Olbia. I manufatti in oggetto sono costituiti da tombini scatolari in c.a. di larghezza e altezza netta di **2 m**, le cui dimensioni di progetto derivano dallo studio idraulico delle portate ad essi afferenti. I piedritti e la soletta di fondazione hanno spessore pari a 0.25 m, così come la soletta di copertura.

La Tabella 1-1 riassume le varie tipologie di tombini che interferiscono con la variante Bauladu. 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 tipo 2 x 2 m ubicato alla seguente progressiva:

- IN03 Progressiva km 1+020.13

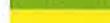
L'opera oggetto del calcolo è assimilabile alle seguenti opere:

- IN01 Progressiva km 0+475.00

TABELLA 1-1: TOMBINI TRATTA BAULADU

| TOMBINO | PROGRESSIVA | TIPOLOGIA | | DIMENSIONI | |
|---------|-------------|---|---|------------|-----------|
| | | FERROVIARIO | STRADALE | CIRCOLARE | SCATOLARE |
| IN01 | 0+475.00 |  | | | 2 x 2 m |
| IN03 | 1+020.13 |  | | | 2 x 2 m |
| IN08 | 6+053.43 |  | | | 2 x 2.5 m |
| IN09 | 6+110.00 |  | | | 2 x 2.5 m |
| IN10 | 7+300.00 |  | | D1500 mm | |
| IN12 | 8+334.16 |  | | | 2 x 2 m |
| IN02 | 0+910.70 | |  | D400 mm | |
| IN04 | 0+005.00 | |  | D1000 mm | |
| IN05 | 0+007.50 | |  | D1000 mm | |
| IN06 | 0+212.50 | |  | D1500 mm | |
| IN07 | 0+325.00 | |  | | 2 x 2 m |
| IN11 | 0+945.75 | |  | D500 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 RR0H01D13RBOC0001001A - Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto;
- Ref. 2 RR0H01D13F6OC0001001A - Profilo geotecnico di linea – Tav 1 di 4;
- Ref. 3 RR0H01D13F6OC0001002A - Profilo geotecnico di linea – Tav 2 di 4;
- Ref. 4 RR0H01D13F6OC0001003A - Profilo geotecnico di linea – Tav 3 di 4;
- Ref. 5 RR0H01D13F6OC0001004A - Profilo geotecnico di linea – Tav 4 di 4;
- Ref. 6 RR0H01D13PZIN0100001A - IN01 - Pianta, profilo e sezioni di carpenteria e scavi;
- Ref. 7 RR0H01D13PZIN0300001A - IN03 - Pianta, profilo e sezioni di carpenteria e scavi;
- Ref. 8 RR0H01D13TTOC0000001A - 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 2 X 2

Il tombino è costituito da manufatti scatolari in conglomerato cementizio armato gettato in opera, di dimensioni esterne 2.50 x 2.50 m e dimensioni interne 2 x 2 m, di cui si riporta in Figura una sezione trasversale tipologica. Per i dettagli delle carpenterie dei manufatti si rimanda all'elaborato grafico specifico:

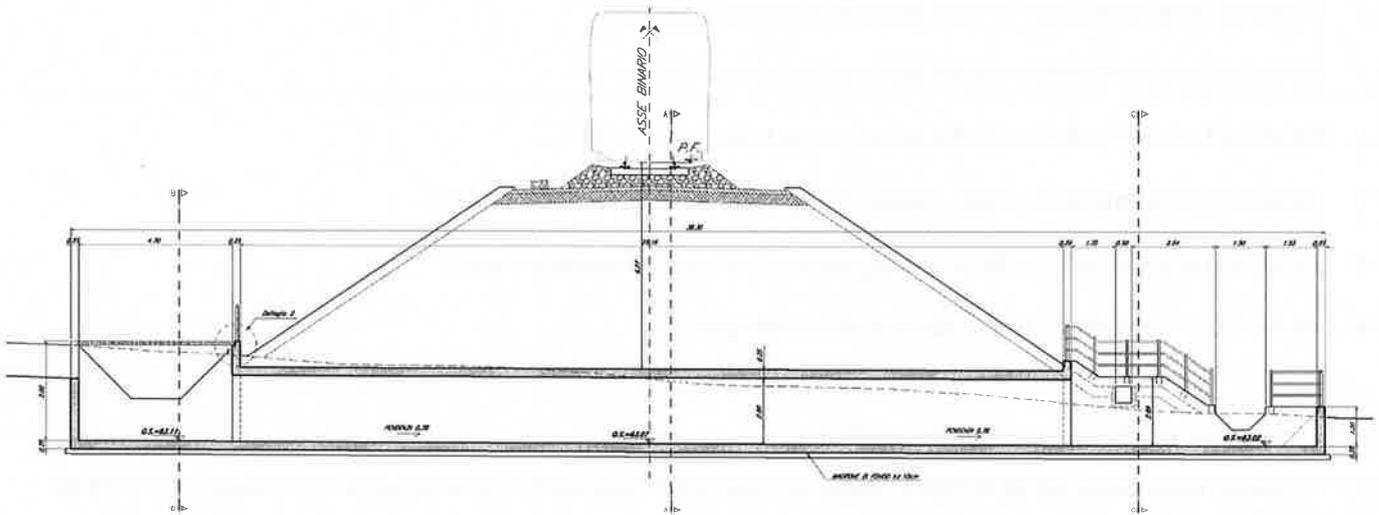


FIGURA 3-1: SEZIONE LONGITUDINALE TIPOLOGICA

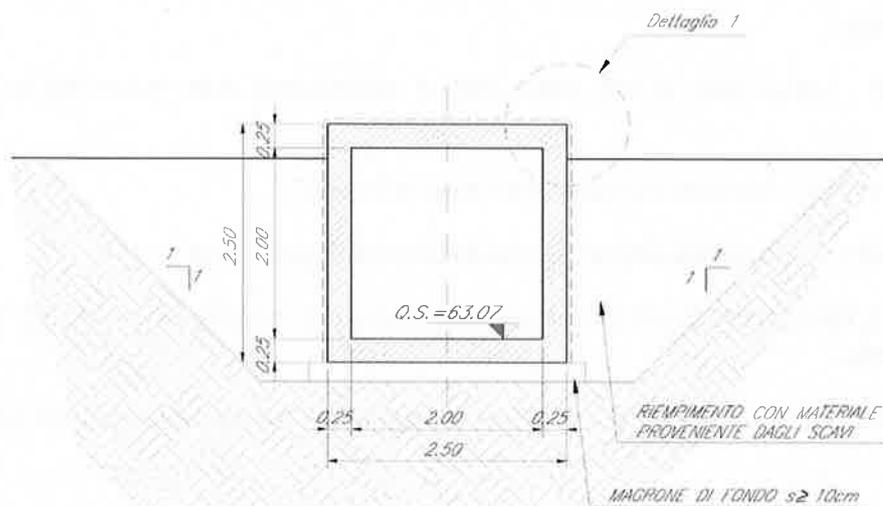


FIGURA 3-2: SEZIONE TRASVERSALE TIPOLOGICA

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

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari
2.0x2.0 – IN01,IN03**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| RR0H | 01 | D 13 CL | IN 00 00 003 | A | 7 di 57 |

| | | |
|--------------------------------------|-----------|--------|
| 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 |
| Spessore del supercompattato | H_{sc} | 0.30 m |
| Spessore massetto impermeabilizzante | H_m | 0.00 m |
| Spessore del rinterro | H_r | 5.05 m |
| Larghezza traversa | L_t | 2.40 m |
| Larghezza totale | L_{tot} | 2.50 m |
| Larghezza netta | L_{int} | 2.00 m |
| Spessore fondazione | S_f | 0.25 m |
| Spessore soletta sup. | S_s | 0.25 m |
| Spessore piedritti | S_p | 0.25 m |
| Spessore finitura soletta superiore | S_{fs} | 0.00 m |
| Altezza libera | H_{int} | 2.00 m |
| Altezza totale | H_{tot} | 2.50 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: $f_{tk} \geq 540$ MPa
- tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 450$ MPa
- allungamento caratteristico: ≥ 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: $D_{max} = 25$ mm
- copriferro minimo: $c_{f,min} \geq 50$ 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 (1) | Massa per asse | Massa per metro corrente |
|----------------|----------------|--------------------------|
| A | 16 t | 5,0 t/m |
| B ₁ | 18 t | 5,0 t/m |
| B ₂ | 18 t | 6,4 t/m |
| C ₂ | 20 t (2) | 6,4 t/m |
| C ₃ | 20 t (2) | 7,2 t/m |
| C ₄ | 20 t (2) | 8,0 t/m |
| D ₂ | 22,5 t | 6,4 t/m |
| D ₃ | 22,5 t | 7,2 t/m |
| D ₄ | 22,5 t | 8,0 t/m |
| E ₅ | 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. 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. 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. 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. . 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. .

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 si ha la presenza di rocce del tipo Basalti e Andesiti, superficialmente affiorano le formazioni rocciose e localmente sono presenti depositi e coltri di alterazione delle formazioni litoidi (per maggiori dettagli vedasi la relazione geotecnica di cui al Ref. 1).

Nell'ambito delle formazioni rocciose di cui sopra sulla base dei sondaggi e delle prove sismiche si è individuata una fascia superficiale di roccia alterata, di spessore variabile, avente caratteristiche meccaniche complessivamente inferiori rispetto alle porzioni più profonde della formazione rocciosa. Questa fascia superficiale corrispondente alla parte alta delle delle formazioni rocciose di substrato.

Si osserva che in generale, lungo tutto il tracciato, anche 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 coincidono con quelli delle unità geotecniche più superficiali.

Ai fini del dimensionamento strutturale dello scatolare si assumono prudenzialmente per il terreno di fondazione i parametri di seguito riportati corrispondenti ad un terreno sciolto superficiale:

| | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 19 \text{ kN/mc}$ |
| Angolo di resistenza al taglio | $\phi' = 30^\circ$ |
| Coesione efficace | $c' = 0$ |
| Modulo elastico | $E' = 25 \text{ MPa}$ |

Inoltre, il rinterro del tombino avverrà con terreno da rilevato ferroviario/terreno di riporto lungo tutta l'altezza del manufatto del tombino. Per le caratteristiche dei rilevati ferroviari e del terreno imbarcato e di riporto, si assumono i seguenti parametri:

| | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 20 \text{ kN/mc}$ |
| Angolo di resistenza al taglio | $\phi' = 38^\circ$ |
| 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.).

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 25 cmq

Piedritti: Sezione 100 x 25 cmq

Soletta inferiore: Sezione 100 x 25 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

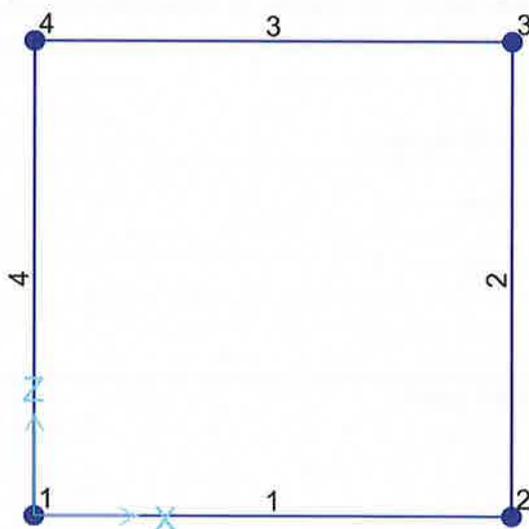


FIGURA 7-1: MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI E NUMERAZIONE DEI NODI

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);

ν = 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 rigidezza delle molle nel modello di calcolo k che sono applicate sia in direzione verticale che in direzione orizzontale:

Calcolo rigidezza molle modello di calcolo

E 25 MPa modulo elastico del terreno

ν 0.3 coeff. di Poisson

B 2.5 m larghezza fondazione

L 36.8 m lato maggiore della fondazione

L/B 14.72

fattore di forma (Interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960)

Ct 2.131

Ks 5157 kN/mc

kN/mq/

k 5157 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. , Ref. e Ref. per il coefficiente dinamico ϕ e il coefficiente di adattamento α , definito nel Ref. ;
- Tramite analisi dinamica

I requisiti per determinare se è richiesta una analisi statica o dinamica sono indicati in Ref. . In particolare, si fa riferimento al diagramma di flusso come dal punto 6.4.4 del Ref. , 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_{ϕ} "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].

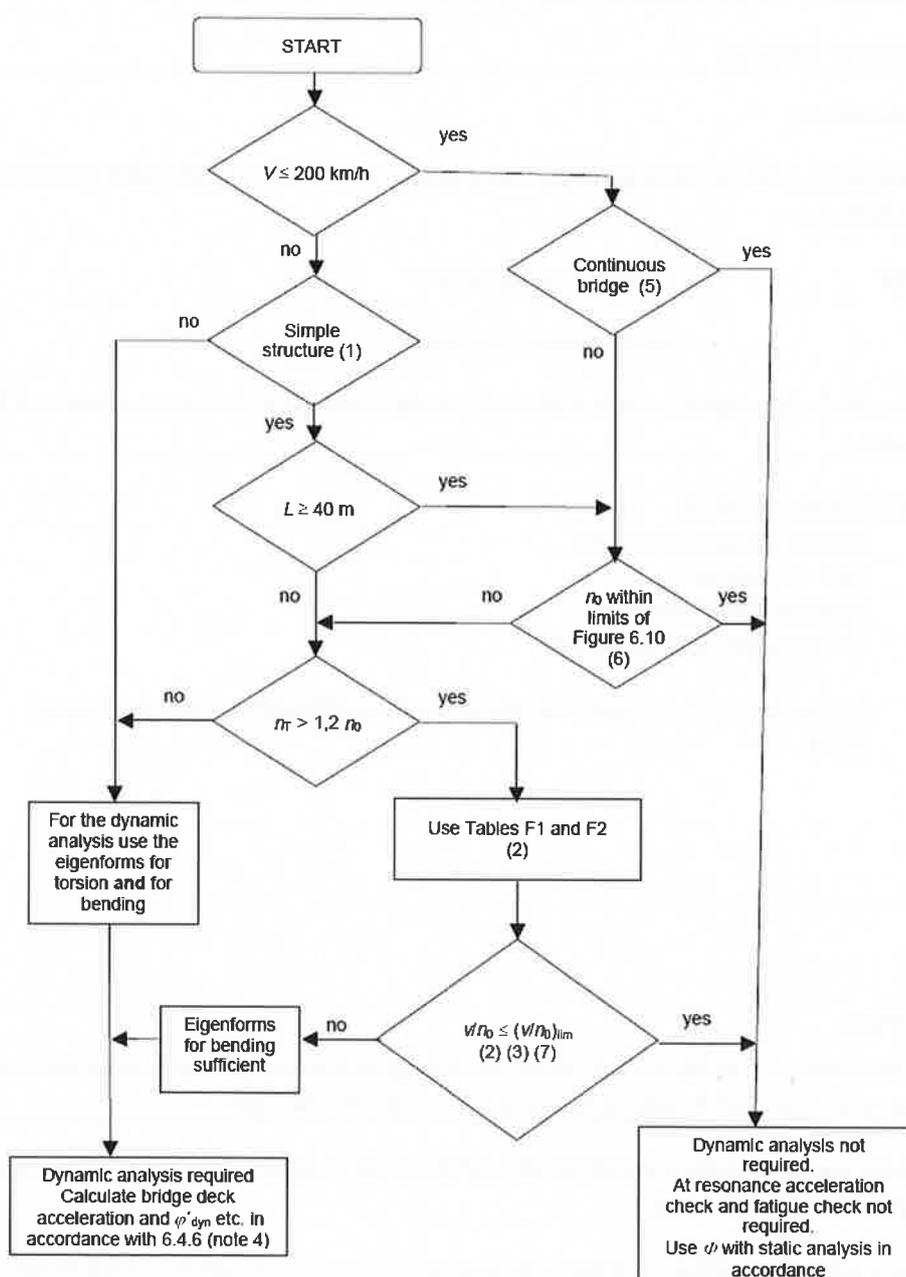


FIGURA 7-2: DIAGRAMMA DI FLUSSO PER DETERMINARE SE L'ANALISI DINAMICA È NECESSARIA



PROGETTO DEFINITIVO

**VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA
VARIANTE BAULADU**

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari
2.0x2.0 – IN01,IN03**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RR0H | 01 | D 13 CL | IN 00 00 003 | A | 15 di 57 |

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. e nel Ref. (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 m x 25.00 kN/mc = | 0.00 kN/mq |
| Rinterro: | 5.05 m x 20.00 kN/mc = | 101.00 kN/mq |
| | 6.27 m | 123.8 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: $123.80 \cdot (0.25/2) = 15.48 \text{ kN}$

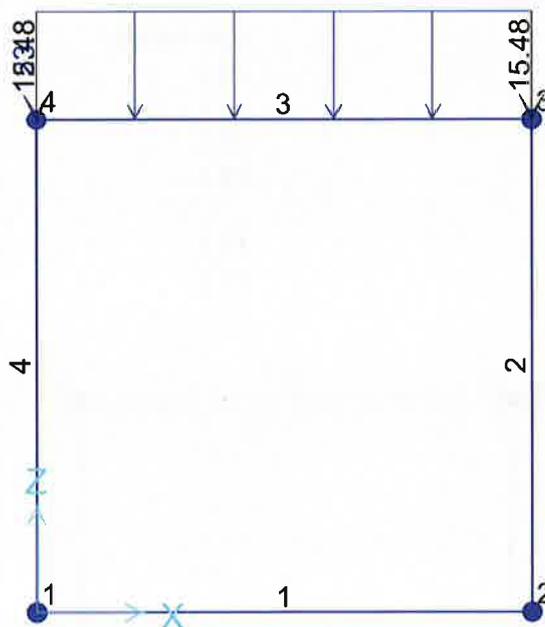


FIGURA 7-3: CARICHI PERMANENTI (PERM)

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 ϕ' è l'angolo di resistenza al taglio del terreno agente sui piedritti (Ref. , §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:

$$P = (P_b + h_{\text{variabile}} \cdot \gamma_{\text{terreno_piedritto}}) \cdot K_0$$

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 = | 47.58 kN/mq |
| Spinta asse soletta superiore | P2 = | 48.54 kN/mq |
| Spinta asse soletta inferiore | P3 = | 65.84 kN/mq |
| Spinta alla quota di intradosso sol. Inf. | P4 = | 66.80 kN/mq |
| Spinta semispessore sol. sup. | F1 = | 6.01 kN/m |
| Spinta semispessore sol. inf. | F2 = | 8.29 kN/m |

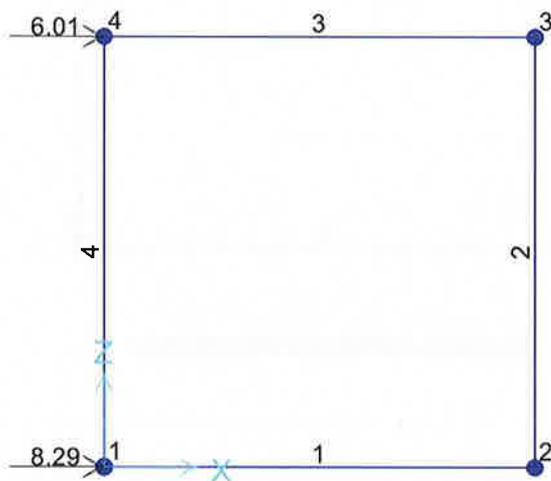


FIGURA 7-4: CARICO CONCENTRATO DOVUTO ALLA SPINTA DEL TERRENO (SPTSX)

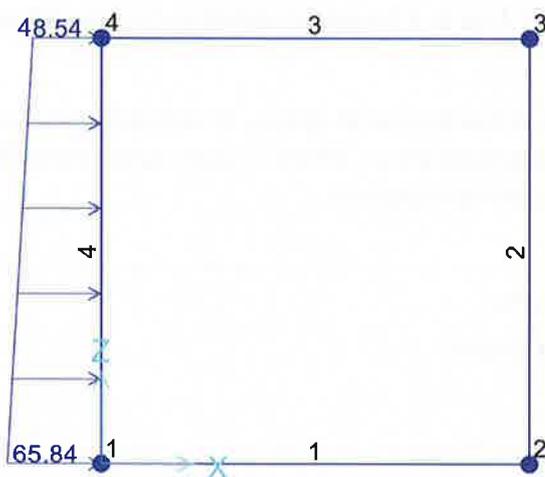


FIGURA 7-5: CARICO DISTRIBUITO DOVUTO ALLA SPINTA DEL TERRENO (SPTSX)

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 rinfilanco 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. , i carichi da traffico ferroviario devono essere incrementati da un coefficiente di adattamento α e di amplificazione dinamica Φ . Il calcolo di quest'ultimo è dettagliato nel seguente paragrafo.

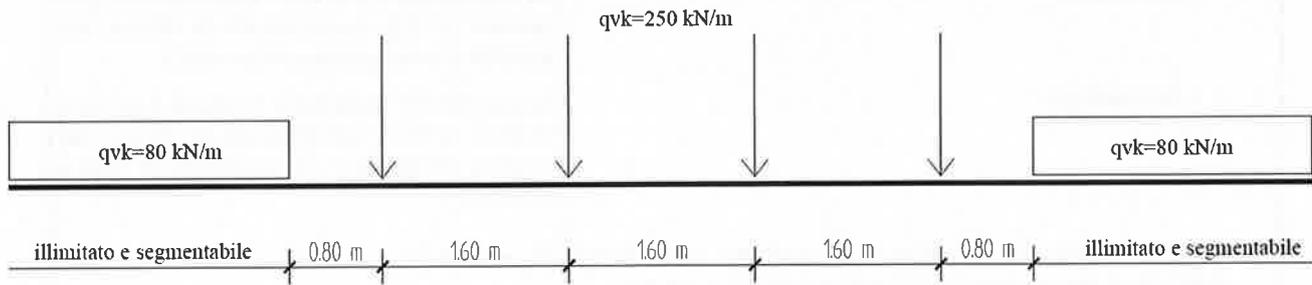


FIGURA 7-6: TRENO LM71

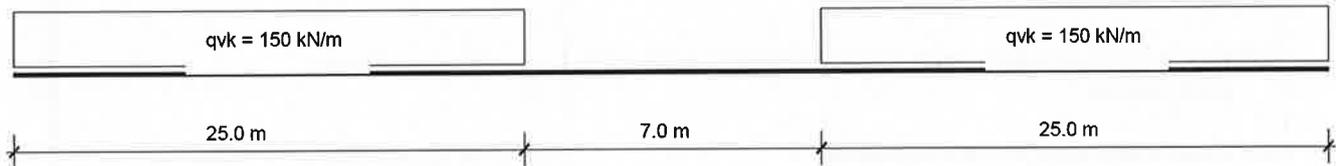


FIGURA 7-7: TRENO SW/2

COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA

Per il calcolo del coefficiente dinamico Φ si fa riferimento al §2.5.1.4.2 del Ref. al punto 6.4.5.2 del Ref. e al Ref. .

Poiché risulta:

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

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

Si dovrebbe assumere $\Phi=1.35$ per linee a ridotto standard manutentivo, come specificato a in Tab. 5.2.II del Ref. al punto 5.4 (Figura 7-8). Tuttavia, essendo la struttura dotata di una copertura maggiore di 2.5 m si assume $\Phi=1.00$, in base all'indicazione al §3.12.1.2.2 del Ref. .

Tab. 5.2.II - Lunghezza caratteristica L_{ϕ}

| Caso | Elemento strutturale | Lunghezza L_{ϕ} |
|-----------------------------|---|---|
| TRAVI PRINCIPALI | | |
| 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 Φ pari a 0,9, da applicare al coefficiente Φ | $\Phi_2 = 1.20$; $\Phi_3 = 1.35$ |
| | 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. |
| SUPPORTI STRUTTURALI | | |
| 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 ϕ' nel sub-ballast, super compattato, rinterro e 45° all'interno del CLS (§5.2.2.3.1.4 Ref.), per cui la diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_d = L_t + 2 \cdot ((H_b - H_{tb}) / 4 + (H_{sb} + H_{sc} + H_r) \cdot \tan(\phi') + S_s / 2) = 6.27 \text{ m}$$

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 $\Phi_3 = 1.00$) risulta:

**Carico verticale sulla soletta di copertura ACCM
LM71**

| | | | |
|--|-----------|----------|---|
| Lunghezza caratteristica per coeff. Din. | L_Φ | 2.8167 m | |
| Standard manutententivo (elevato/ridotto): | | ridotto | |
| Coefficiente dinamico | Φ | 1.00 | Struttura con copertura maggiore di 2.5 m |
| Coefficiente di adattamento | α | 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 | 6.27 m | |

Q_{vk} - Forze concentrate

| | |
|--|-------------|
| Carico Q_{vk} (totale) | 1000 kN |
| Carico Q_{vk} (ripartito) = $[1000/L_{d,l}] \cdot \alpha \cdot \Phi / L_d$ | 27.41 kN/mq |

q_{vk} - Carico distribuito

| | |
|--|-------------|
| Carico q_{vk} | 80 kN/m |
| Carico q_{vk} (ripartito) = $80 \cdot \alpha \cdot \Phi / L_d$ | 14.04 kN/mq |

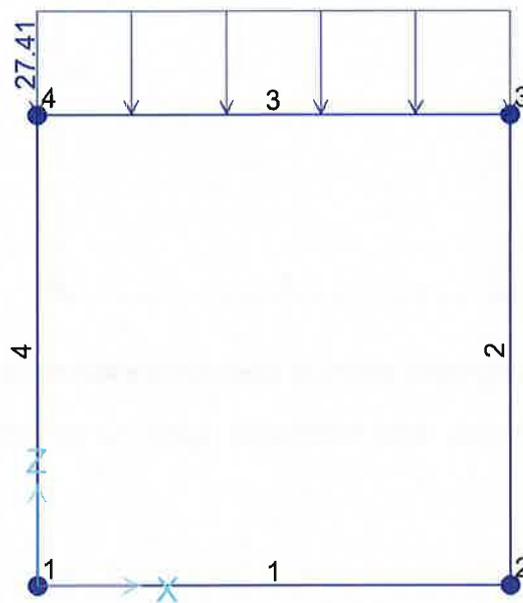


FIGURA 7-9: SOVRACCARICO FERROVIARIO (ACCM)

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) $(80 \cdot \alpha / L_d) \cdot K_0 = 5.39 \text{ kN/mq}$

Carico ripartito equivalente alle forze concentrate $[1000/L_{d,i}] \cdot \alpha / L_d = 10.54 \text{ kN/mq}$

Spinta semispessore soletta superiore: 1.32 kN

Spinta semispessore soletta inferiore: 1.32 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.

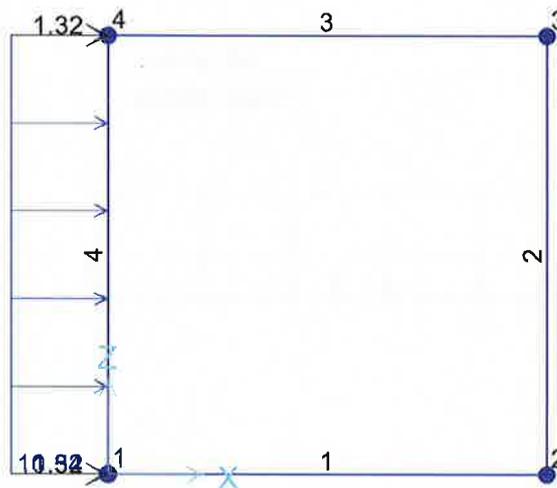


FIGURA 7-10: SOVRASPINTA DOVUTA AL CARICO FERROVIARIO (SPACCSX)

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:

$$Q1ak = 33/Ld = 33/6.27 = 5.26 \text{ kN/mq}$$

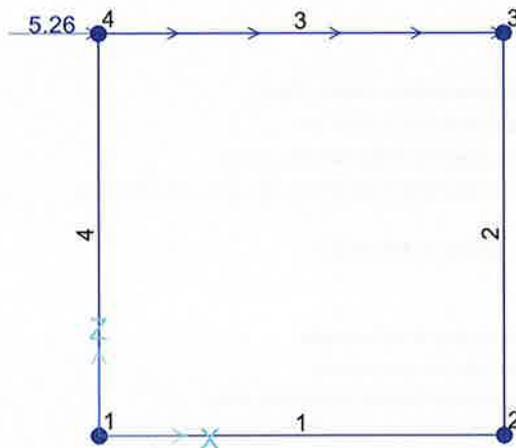


FIGURA 7-11: AZIONE DA FRENATURA/AVVIAMENTO (AVV)

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 α , (se $\alpha>1$), ma non per il coefficiente Φ . 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.). Pertanto, nel caso in esame, vengono trascurati gli effetti delle variazioni termiche.

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 $\varphi(t, t_0)$, come definiti nel Ref. e nel Ref. . 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
 2.0x2.0 – IN01,IN03**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RR0H | 01 | D 13 CL | IN 00 00 003 | A | 24 di 57 |

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_s | = | 210000 | [MPa] | Modulo di elasticità dell'acciaio |

Tempo e ambiente

| | | | | |
|-----------------|---|-------|-------------------|--|
| A_c | = | 0.25 | [m ²] | Area della sezione in calcestruzzo |
| u | = | 1 | [m] | Perimetro della sezione esposto |
| h_0 | = | 500 | [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 ₀ | = | 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"

| | | | | |
|---|---|--------|--------|---|
| φ_{RH} | = | 1.293 | [-] | Coefficiente per l'effetto dell'umidità relativa (Formula B.3a/B.3b EN 1992-1-1) |
| α_1 | = | 0.944 | [-] | Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo (Formula B.8c EN 1992-1-1) |
| α_2 | = | 0.984 | [-] | Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo (Formula B.8c EN 1992-1-1) |
| α_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) |
| β_H | = | 1102.5 | [-] | Coefficiente dipendente dall'umidità relativa e dalla dimension convenzionale h_0 (Formula B.8a/B.8b EN 1992-1-1) |
| $\beta_c(t, t_0)$ | = | 0.9874 | [-] | Coefficiente per lo sviluppo della viscosità nel tempo (Formula B.7 EN 1992-1-1) |
| α | = | 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 $t_{0,mod}$ |
| $\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$ | = | 1.7206 | [-] | Formula B.2 EN 1992-1-1 |
| $\varphi(t, t_0) = \varphi(t, t_0) \times \beta_c(t, t_0)$ | = | 1.699 | [-] | Coefficiente di viscosità (Formula B.1 EN 1992-1-1) |
| $E_{c-creep} = E_{cm} / (1 + \varphi(t, t_0))$ | = | 12167 | [MPa] | Modulo di elasticità del calcestruzzo ridotto per effetto della viscosità |

Deformazione e ritiro

| | | | | |
|---|---|------------|-------|---|
| $\epsilon_{ca,\infty}$ | = | 0.00005 | [%] | 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 | [%] | Ritiro autogeno al tempo t (Formula 3.11 EN 1992-1-1) |
| f_{cm0} | = | 10 | [MPa] | Coefficiente di resistenza del calcestruzzo |
| α_{sd1} | = | 4 | [-] | Coefficiente dipendente dalla classe di cemento (Annex B.2 EN 1992-1-1) |
| α_{sd2} | = | 0.12 | [-] | Coefficiente dipendente dalla classe di cemento (Annex B.2 EN 1992-1-1) |
| β_{RH} | = | 0.89609375 | [-] | Formula B.12 EN 1992-1-1 |
| $\epsilon_{cd,0}$ | = | 0.000319 | [-] | Formula B.11 EN 1992-1-2 |
| $\beta_{ds}(t, t_s)$ | = | 0.982796 | [-] | Formula 3.10 EN 1992-1-3 |
| $\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_h \epsilon_{cd,0}$ | = | 0.000219 | [-] | Ritiro igrometrico al tempo t (Formula 3.9 EN 1992-1-1) |
| $\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$ | = | 0.00026920 | [-] | Ritiro totale |
| α_T | = | 0.00001 | [-] | Coefficiente di espansione termica del calcestruzzo |
| $\Delta T_{equivalent}$ | = | 26.9 | [°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. , 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:

$$\text{Forza sismica orizzontale} \quad F_h = k_h * W$$

$$\text{Forza sismica verticale} \quad F_v = k_v * W$$

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:

$$G1 + G2 + \psi_2 j Qkj$$

Dove nel caso specifico si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari $\psi_2 j = 0,2$.

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 | 68.5 kN/m |
| Carico variabile SW/2 totale agente | 59.8 kN/m |
| LM71 | 68.5 kN/m |

Sisma orizzontale (SISMA_H)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Azione inerziale peso proprio | 0.35 kN/mq |
| Azione inerziale carico permanente | 6.88 kN/mq |
| Azione inerziale carico variabile | 0.34 kN/mq |

Forza orizzontale totale (F'h) **7.56 kN/mq**

Sisma verticale (SISMA_V)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Azione inerziale peso proprio | 0.17 kN/mq |
| Azione inerziale carico permanente | 3.44 kN/mq |
| Azione inerziale carico variabile | 0.18 kN/mq |

Forza verticale totale (F'v) **3.79 kN/mq**

Piedritti

Sisma orizzontale (SISMA_H)

| | |
|-------------------------------|------------|
| Azione inerziale peso proprio | 0.35 kN/mq |
|-------------------------------|------------|

Forza orizzontale totale (F''h) **0.35 kN/mq**

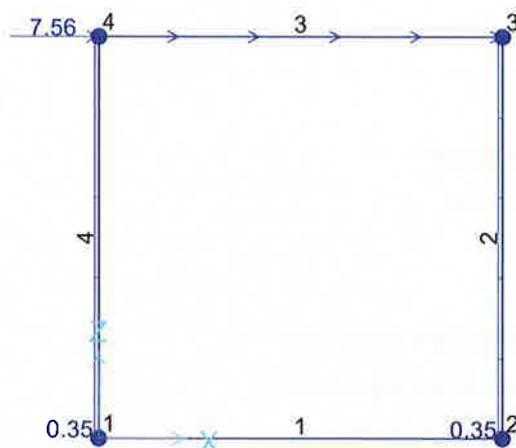


FIGURA 7-12: AZIONE STATICA EQUIVALENTE SISMA ORIZZONTALE (SISMA_H)

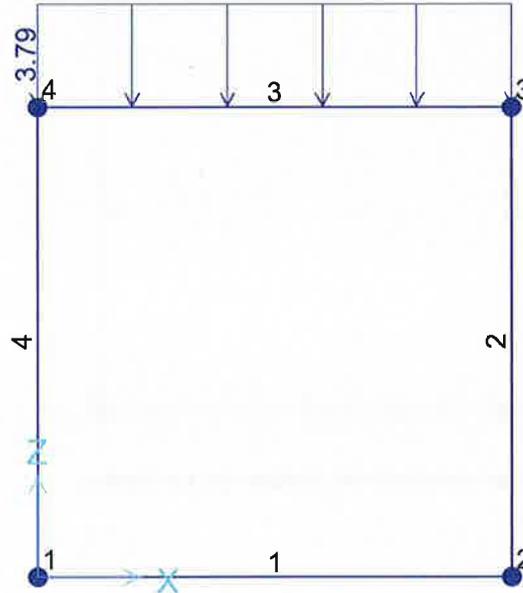


FIGURA 7-13: AZIONE STATICA EQUIVALENTE SISMA VERTICALE (SISMA_V)

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 | $\Delta S_{s,e,dx} = a_{max}/g \cdot \gamma_t (H_{int} + S_s + S_f)^2$ | 6.94 kN/m |
| Pressione risultante | $\Delta p_{s,e,dx} = \Delta S_{s,e,dx} / H$ | 3.09 kN/mq |

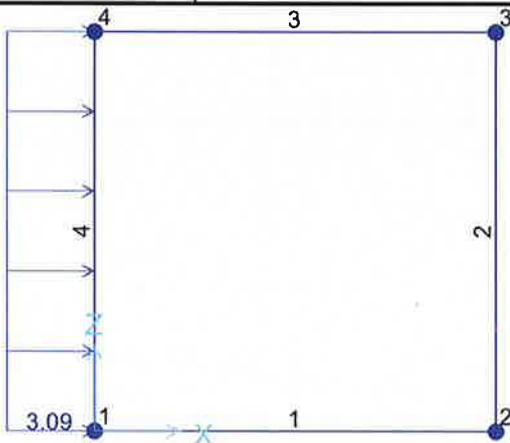


FIGURA 7-14: SPINTA DEL TERRENO IN FASE SISMICA

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. 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 γ e i coefficienti di combinazione ψ .

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

Per i coefficienti di combinazione ψ , 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 ⁽¹⁾ | A1 STR | A2 GEO | Combinazione eccezionale | Combinazione Sismica |
|--|-------------|---------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|-------------------------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{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 ⁽²⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 | 1,00 | 1,00 |
| Ballast ⁽³⁾ | favorevoli | γ_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 ⁽⁴⁾ | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,45 | 1,45 | 1,25 | 0,20 ⁽⁵⁾ | 0,20 ⁽⁵⁾ |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 | 1,00 | 0,00 |
| Precompressione | favorevole | γ_P | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevole | | 1,00 ⁽⁶⁾ | 1,00 ⁽⁷⁾ | 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

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:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{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 γ pari a 1,20 per la combinazione EQU, A1 STR, e γ 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 γ pari a 0.

| Azioni | | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_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 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | gr2 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | - |
| | gr3 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | gr4 | 1,00 | 1,00 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Azioni del vento | F_{Wk} | 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_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 azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

FIGURA 7-16: COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE Ψ DELLE AZIONI (TABELLA 5.2.VI NTC 2008).

| Azioni | | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|----------|----------|
| Azioni singole da traffico | Treno di carico LM 71 | 0,80 ⁽³⁾ | (1) | 0,0 |
| | Treno di carico SW /0 | 0,80 ⁽³⁾ | 0,80 | 0,0 |
| | Treno di carico SW/2 | 0,0 ⁽³⁾ | 0,80 | 0,0 |
| | Treno scarico | 1,00 ⁽³⁾ | - | - |
| | Centrifuga | (2) (3) | (2) | (2) |
| | Azione laterale (serpeggio) | 1,00 ⁽³⁾ | 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 Ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

FIGURA 7-17: ULTERIORI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE Ψ 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. 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.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | PROGETTO DEFINITIVO VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA VARIANTE BAULADU | | | | | |
| | Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari 2.0x2.0 – IN01,IN03 | COMMESSA RR0H | LOTTO 01 | CODIFICA D 13 CL | DOCUMENTO IN 00 00 003 | REV. A |

| TIPO DI CARICO | Azioni verticali | | Azioni orizzontali | | | Commenti |
|------------------------|----------------------|---------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| | Carico verticale (1) | Treno scarico | Frenatura e avviamento | Centrifuga | Serpeggio | |
| Gruppo 1 (2) | 1,00 | - | 0,5 (0,0) | 1,0 (0,0) | 1,0 (0,0) | massima azione verticale e laterale |
| Gruppo 2 (2) | - | 1,00 | 0,00 | 1,0 (0,0) | 1,0(0,0) | stabilità laterale |
| Gruppo 3 (2) | 1,0 (0,5) | - | 1,00 | 0,5 (0,0) | 0,5 (0,0) | massima azione longitudinale |
| Gruppo 4 | 0,8 (0,6; 0,4) | - | 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 (Φ, α , 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 ⁽²⁾ |
|------------------|----------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| | | caso a ⁽¹⁾ | caso b ⁽¹⁾ | |
| 1 | Primo | 1,0 (LM 71''+"SW/0'') | - | 1,0 SW/2 |
| 2 | Primo | 1,0 (LM 71''+"SW/0'') | - | 1,0 SW/2 |
| | secondo | 1,0 (LM 71''+"SW/0'') | - | 1,0 (LM 71''+"SW/0'') |
| ≥ 3 | Primo | 1,0 (LM 71''+"SW/0'') | 0,75 (LM 71''+"SW/0'') | 1,0 SW/2 |
| | 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.) 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.

| 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.). 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:

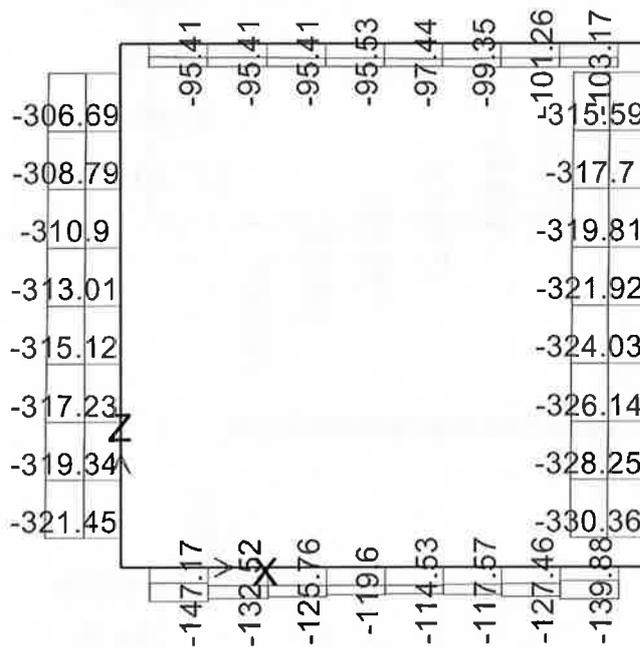


FIGURA 7-21: SFORZO NORMALE - INVILUPPO SLU/SLV

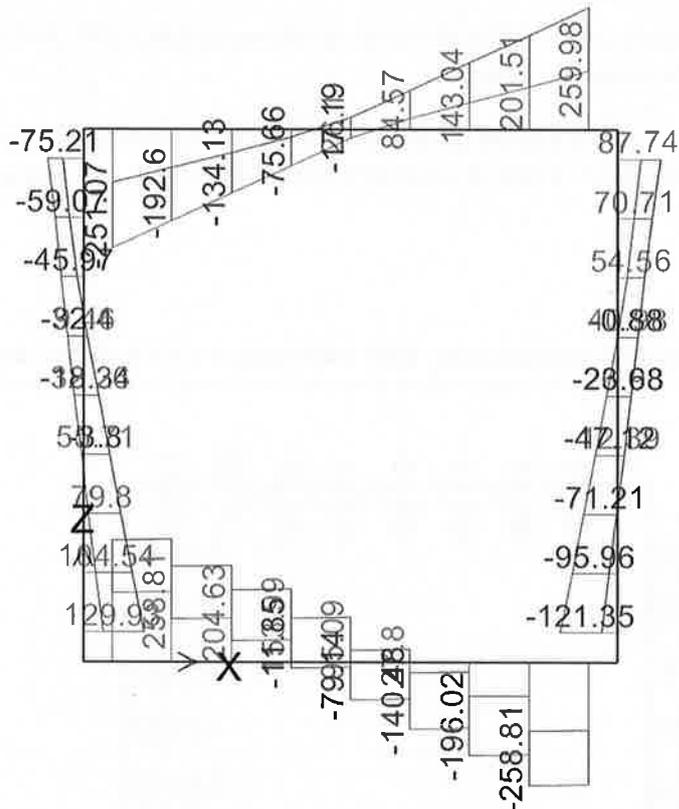


FIGURA 7-22: TAGLIO - INVILUPPO SLU/SLV

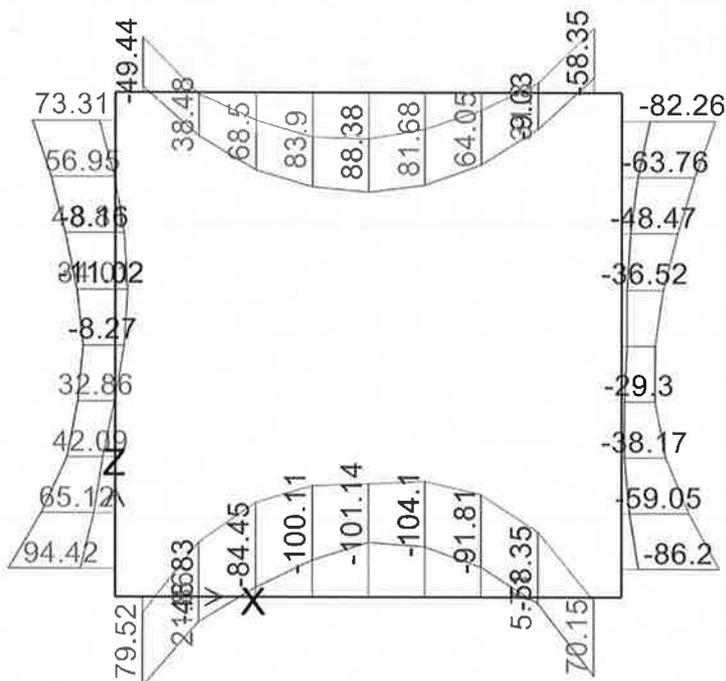


FIGURA 7-23: MOMENTO FLETTENTE - INVILUPPO SLU/SLV

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 |
| SLU04 | -91 | 260 | -58 |
| SLU02 | -63 | 9 | 88 |
| SLU10 | -84 | -251 | -49 |
| SLU04 | -91 | 260 | -58 |
| SLU02 | -55 | -225 | -20 |
| SLU05 | -103 | 251 | -51 |

VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

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

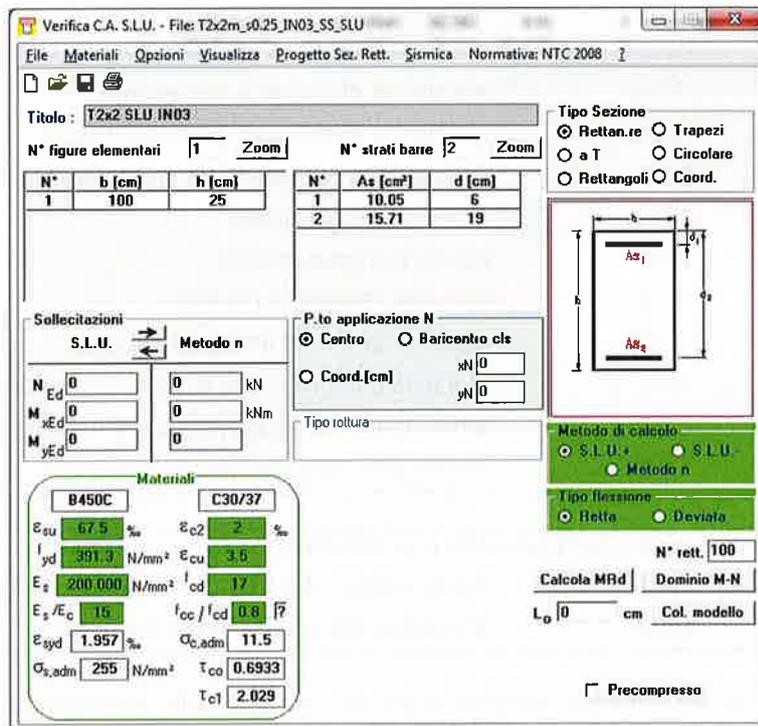
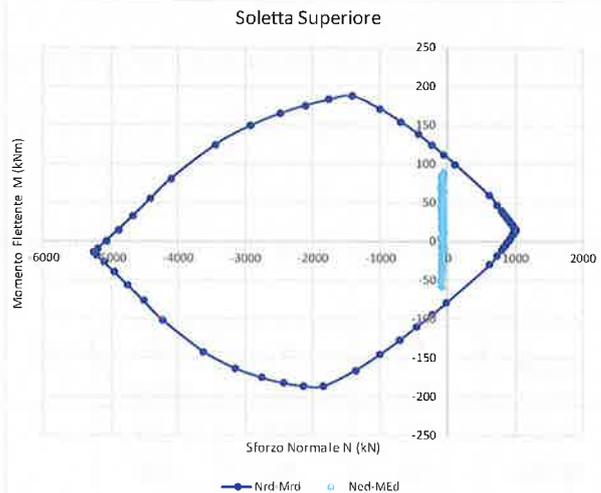


FIGURA 7-24: SEZIONE RESISTENTE SOLETTA SUPERIORE

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) | 250.0 | altezza della sezione |
| d (mm) | 190.0 | 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 | 2.00 | fattore di ingranamento |
| v_{min} | 0.54 | tensione resistente minima |
| ρ_l | 0.0053 | rapporto geom. di armatura longit. |
| N_{Ed} (N) | 0.0 | sforzo di compressione di progetto nella sezione |
| σ_{cp} (MPa) | 0.00 | tensione media di compressione nella sezione |
| α_c | 1.00 | coefficiente maggiorativo |

| Resist. a taglio dell'elemento non armato e armatura minima | | |
|---|-------|--|
| V_{Rd} (KN) | 114.6 | 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 $\phi 12/20''$ per ogni metro di struttura**. Come riportato nella tabella seguente la verifica risulta soddisfatta.

Resist. a taglio della trave armata a taglio

| | |
|---------------------------------|------------------|
| A_{st} (mmq) | 565.0 |
| s (mm) | 200.0 |
| $ctg\theta_{calcolato}$ | 2.588 |
| $ctg\theta$ | 2.00 |
| Rottura | duttile lato acc |
| V_{Rd3} (kN) | 377.8 |
| V_{Rd2} (kN) | 581.4 |
| V_{Rd} (kN) | 377.8 |

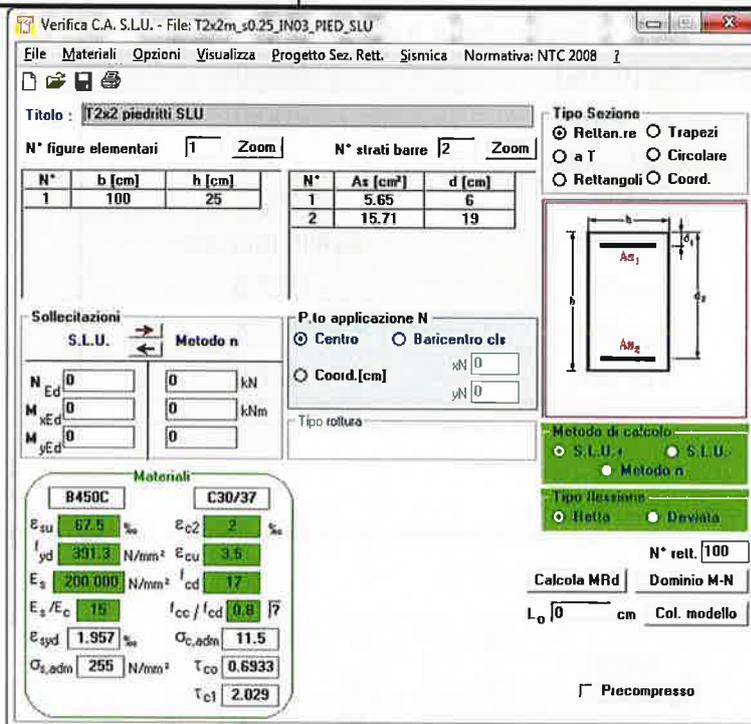
7.7.2 Piedritti

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

| Comb | N | V | M |
|-------|------|------|------|
| | KN | KN | KN-m |
| SLU04 | -278 | 130 | 94 |
| SLU10 | -287 | -121 | -86 |
| SLU04 | -330 | -34 | -31 |
| SLU08 | -145 | -65 | 14 |
| SLU10 | -287 | -121 | -86 |
| SLU04 | -278 | 130 | 94 |

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 $\varnothing 20/20''$ esterni e dei $\varnothing 12/20''$ interni (per maggior chiarezza si rimanda alla Figura 7-23).



Verifica C.A. S.L.U. - File: T2x2m_s0.25_IN03_PIED_SLU

Titolo: T2x2 piedritti SLU

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

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 100 | 25 | 1 | 5.65 | 6 |
| | | | 2 | 15.71 | 19 |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

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

Materiali: B450C C30/37

| | |
|-----------------------------------|---|
| E _{su} 67.5 % | E _{c2} 2 % |
| I _{yd} 301.3 N/mm² | E _{cu} 3.5 |
| E _s 200 000 N/mm² | f _{cd} 17 |
| E _s /E _c 15 | f _{cc} /f _{cd} 0.8 17 |
| E _{syd} 1.957 % | σ _{c,adm} 11.5 |
| σ _{s,adm} 255 N/mm² | τ _{co} 0.6933 |
| | τ _{cl} 2.029 |

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

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 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.

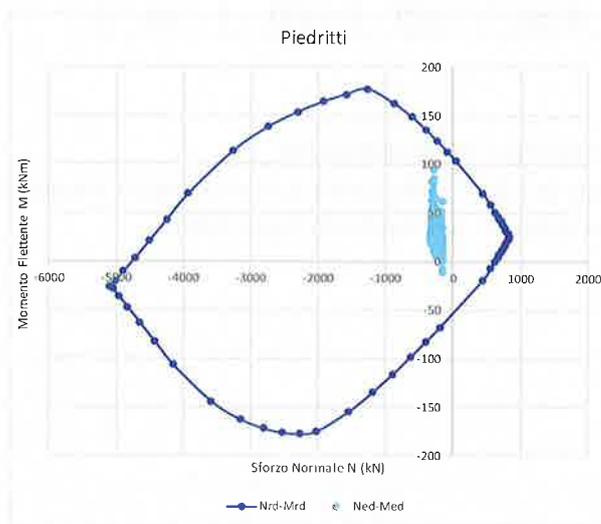


FIGURA 7-27: DOMINIO DI INTERAZIONE M-N PIEDRITTI

VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: TAGLIO

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

**Relazione di calcolo strutturale tombini ferroviari
2.0x2.0 – IN01,IN03**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RR0H | 01 | D 13 CL | IN 00 00 003 | A | 41 di 57 |

Dati

| | | |
|---------------------|--------|--|
| b (mm) | 1000.0 | larghezza dell'anima resistente a taglio |
| h (mm) | 250.0 | altezza della sezione |
| d (mm) | 190.0 | 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 | 2.00 | fattore di ingranamento |
| v_{min} | 0.54 | tensione resistente minima |
| ρ_l | 0.0030 | rapporto geom. di armatura longit. |
| N_{Ed} (N) | 0.0 | sforzo di compressione di progetto nella sezione |
| σ_{cp} (MPa) | 0.00 | tensione media di compressione nella sezione |
| α_c | 1.00 | coefficiente maggiorativo |

Resist. a taglio dell'elemento non armato e armatura minima

| | | |
|--------------------|--------------|--|
| V_{Rd} (kN) | 103.0 | 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.

Resist. a taglio della trave armata a taglio

| | |
|---------------------------------|------------------|
| A_{st} (mmq) | 565.0 |
| s (mm) | 200.0 |
| $ctg\theta_{calcolato}$ | 2.588 |
| $ctg\theta$ | 2.00 |
| Rottura | duttile lato acc |
| V_{Rd3} (kN) | 377.8 |
| V_{Rd2} (kN) | 581.4 |
| V_{Rd} (kN) | 377.8 |

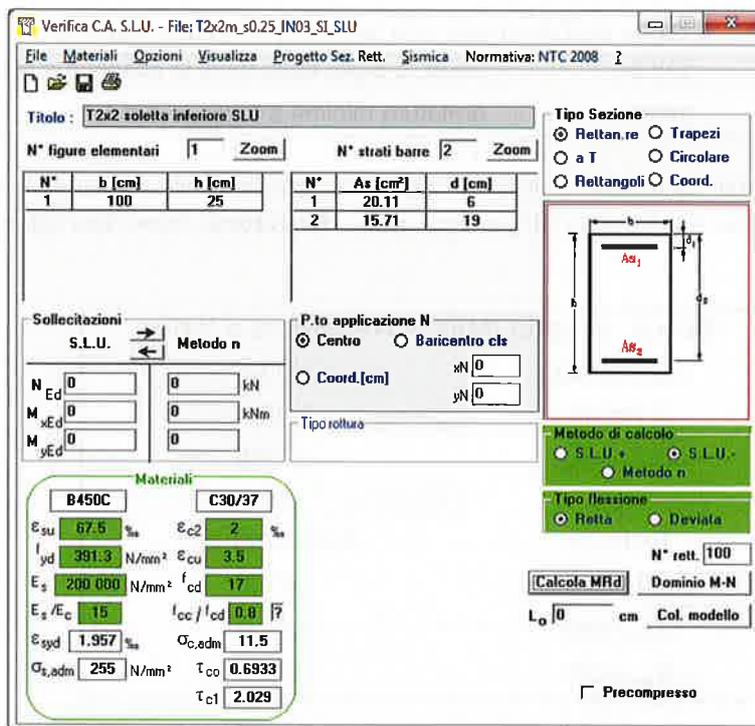
7.7.3 Soletta Inferiore

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 | -97 | 28 | -104 |
| SLU04 | -147 | 256 | 80 |
| SLU04 | -59 | -253 | -58 |
| SLU04 | -147 | 256 | 80 |
| SLU10 | -140 | -259 | 6 |

VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

Si considera la sezione resistente riportata in Figura 7-28, armata all'estradosso con $\varnothing 16/10''$ e all'intradosso con $\varnothing 20/20''$.


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.

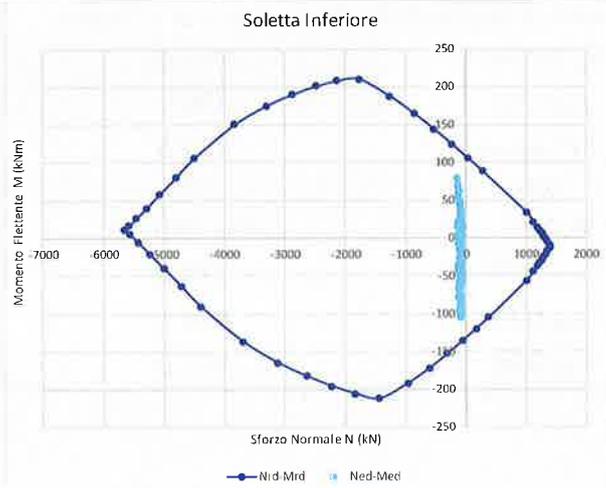


FIGURA 7-29: DOMINIO DI INTERAZIONE M-N SOLETTA INFERIORE

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) | 250.0 | altezza della sezione |
| d (mm) | 190.0 | 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) | 1571.0 | armatura longitudinale |
| k | 2.00 | fattore di ingranamento |
| v_{min} | 0.54 | tensione resistente minima |
| ρ_l | 0.0083 | rapporto geom. di armatura longit. |
| N_{Ed} (N) | 0.0 | sforzo di compressione di progetto nella sezione |
| σ_{cp} (MPa) | 0.00 | tensione media di compressione nella sezione |
| α_c | 1.00 | coefficiente maggiorativo |

| Resist. a taglio dell'elemento non armato e armatura minima | | |
|---|-------|--|
| V_{Rd} (KN) | 133.0 | 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.

Resist. a taglio della trave armata a taglio

| | |
|---------------------------------|------------------|
| A_{st} (mmq) | 565.0 |
| s (mm) | 200.0 |
| $ctg\theta_{calcolato}$ | 2.588 |
| $ctg\theta$ | 2.00 |
| Rottura | duttile lato acc |
| V_{Rd3} (kN) | 377.8 |
| V_{Rd2} (kN) | 581.4 |
| V_{Rd} (kN) | 377.8 |

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'inviluppo 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.

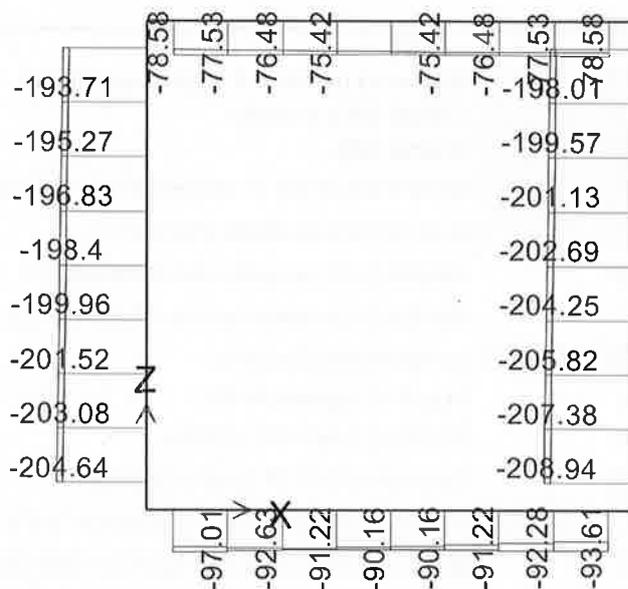


FIGURA 7-30: SFORZO NORMALE - INVILUPPO SLE-RARA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RR0H | 01 | D 13 CL | IN 00 00 003 | A | 45 di 57 |

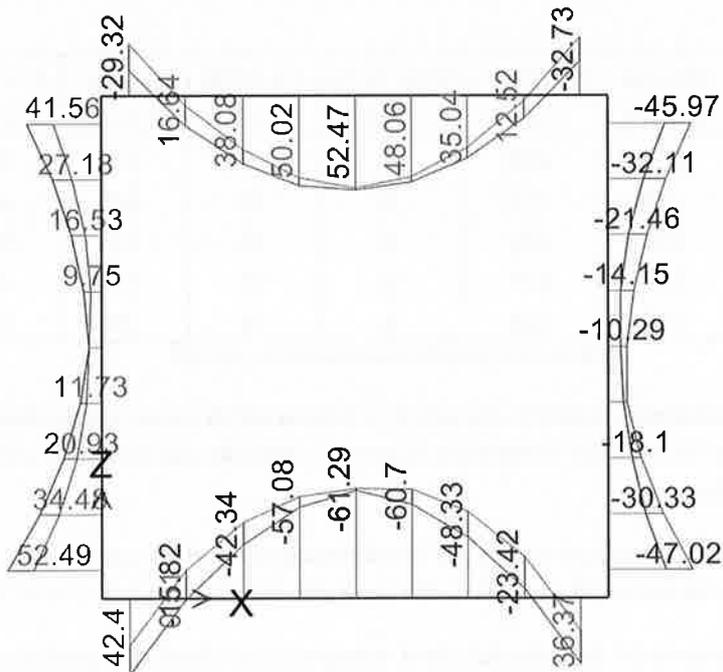


FIGURA 7-31: MOMENTO FLETTENTE - INVILUPPO SLE-RARA

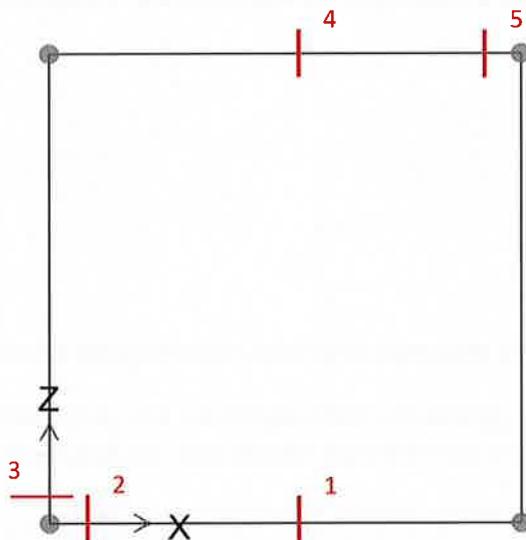


FIGURA 7-32: SEZIONI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE A FESSURAZIONE

| Sezione | Altezza H (cm) | Larghezza | Copriferro c (cm) | Alt. Utile d (cm) | Mmax kN m | Ncorrisp kN |
|---------|-------------------|-----------|----------------------|----------------------|--------------|----------------|
| | | B (cm) | | | | |
| 1 | 250 | 100 | 6 | 19 | -61 | -86 |
| 2 | 250 | 100 | 6 | 19 | 42 | -97 |
| 3 | 250 | 100 | 6 | 19 | 52 | -191 |
| 4 | 250 | 100 | 6 | 19 | 52 | -69 |
| 5 | 250 | 100 | 6 | 19 | -33 | -73 |

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.):

$\delta_f \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel §4.1.2.2.4.3 del Ref. , 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. ;

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 viene superato e pertanto si procede a verificare lo stato limite di apertura delle fessure, valutando la tensione di trazione alla quale sono soggette le barre d'armatura (Figura 7-34). Dal calcolo analitico dell'apertura delle fessure riportato nella tabella seguente si evince che la verifica a fessurazione risulta soddisfatta.

Titolo : T2x2.SLE sez.1

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

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | A _s [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------------------|--------|
| 1 | 100 | 25 | 1 | 20.11 | 6 |
| | | | 2 | 15.71 | 19 |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 96 kN
M_{xEd} 0 -61 kNm
M_{yEd} 0 0

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

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

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

Materiali B450C C30/37

| | | |
|--|-----------------------|-------------------------------------|
| ϵ_{su} 67.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ | σ_c -8.728 N/mm ² |
| f_{yd} 391.3 N/mm ² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ | σ_s 167.1 N/mm ² |
| E_s 200.000 N/mm ² | f_{cd} 17 | ϵ_s 0.8356 ‰ |
| E_s/E_c 15 | I_{ce}/I_{cd} 0.8 | d 19 cm |
| ϵ_{syd} 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 11.5 | x 0.346 x/d 0.4393 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ² | τ_{co} 0.6933 | δ 0.9891 |
| τ_{cl} 2.029 | | |

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

FIGURA 7-34: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NELLE BARRE PER LA SEZIONE 1

NTC2008 - C.M. 617 2/2/09

| | |
|---|-----------------------|
| f_{ck} | 30.0 MPa |
| γ_c | 1.5 - |
| f_{cd} | 17.0 MPa |
| f_{ctm} | 3.476 MPa |
| σ_t | 2.896 MPa |
| E_c | 30000.0 MPa |
| E_s | 210000 MPa |
| M_{Ed} | KN*m |
| N_{Ed} | KN |
| b | 1000 mm |
| h | 250 mm |
| A'_s | 1571 mm ² |
| A_s | 2011 mm ² |
| d | 190 mm |
| c ricoprimento netto arm. tesa | 60 mm |
| ricoprimento barra più esterna | 50 mm |
| ϕ_1 | 16 mm |
| n_1 | 10 - |
| ϕ_2 | 0 mm |
| n_2 | 0 - |
| ϕ_{eq} | 16.0 mm |
| s orizzontale | 100 mm |
| x | 83.46 mm |
| $2.5(h-d)$ | 150.0 mm |
| $(h-x)/3$ | 55.5 mm |
| $h/2$ | 125.0 mm |
| $h_{c,eff}$ | 55.5 mm |
| $b_{c,eff}$ | 1000.0 mm |
| $A_{c,eff}$ | 55513 mm ² |
| $\rho_{p,eff}$ | 0.03623 - |
| k_t | 0.4 - |
| k_1 | 0.8 - |
| k_2 | 0.5 - |
| k_3 | 3.4 - |
| k_4 | 0.425 - |
| $f_{ct,eff}$ | 2.896 MPa |
| α_e | 7.000 - |
| σ_s | 167 MPa |
| ϵ_{sm} | 0.000604 - |
| $5*(c+\phi/2)$ | 290.0 mm |
| $1.3*(h-x)$ | 216.5 mm |
| $k_3*c+k_1*k_2*k_4*\phi/r$ | 245.1 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona esterna barra | 245.1 mm |
| w_d . zona esterna alla barra | 0.148 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona barra | 245.1 mm |
| w_d . zona barra | 0.148 mm |

Nella Sezione 2, lo stato limite di formazione delle fessure viene superato e pertanto si procede a verificare lo stato limite di apertura delle fessure, valutando la tensione di trazione alla quale sono soggette le barre d'armatura (Figura 7-35). Dal calcolo analitico dell'apertura delle fessure riportato nella tabella seguente si evince che la verifica a fessurazione risulta soddisfatta.

Titolo: T2x2 SLE sez.2

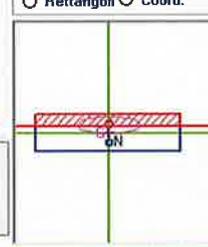
N° figure elementari Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 25 |

N° strati barre Zoom

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 20.11 | 6 |
| 2 | 15.71 | 19 |

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



Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 97 kN
M_{xEd} 42 kNm
M_{yEd} 0

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

Materiali

| B450C | C30/37 |
|--|-----------------------|
| ϵ_{su} 67.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ |
| f_{yd} 391.3 N/mm ² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ |
| E_s 200 000 N/mm ² | f_{cd} 17 |
| E_s/E_c 15 | f_{cc}/f_{cd} 0.8 |
| ϵ_{syd} 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 11.5 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ² | τ_{co} 0.6933 |
| | τ_{c1} 2.029 |

σ_c -6.433 N/mm²
 σ_s 132.8 N/mm²
 ϵ_s 0.6639 ‰
d 19 cm
 κ 7.996 κ/d 0.4208
 δ 0.9661

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

Verifica
N° iterazioni:

Precompresso

FIGURA 7-35: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NELLE BARRE PER LA SEZIONE 2

NTC2008 - C.M. 617 2/2/09

| | |
|---|-----------------------|
| f_{ck} | 30.0 MPa |
| γ_c | 1.5 - |
| f_{cd} | 17.0 MPa |
| f_{ctm} | 3.476 MPa |
| σ_t | 2.896 MPa |
| E_c | 30000.0 MPa |
| E_s | 210000 MPa |
| M_{Ed} | KN*m |
| N_{Ed} | KN |
| b | 1000 mm |
| h | 250 mm |
| A'_s | 2011 mm ² |
| A_s | 1571 mm ² |
| d | 190 mm |
| c ricoprimento netto arm. tesa | 60 mm |
| ricoprimento barra più esterna | 50 mm |
| ϕ_1 | 20 mm |
| n_1 | 5 - |
| ϕ_2 | 0 mm |
| n_2 | 0 - |
| ϕ_{eq} | 20.0 mm |
| s orizzontale | 100 mm |
| x | 79.96 mm |
| $2.5(h-d)$ | 150.0 mm |
| $(h-x)/3$ | 56.7 mm |
| $h/2$ | 125.0 mm |
| $h_{c,eff}$ | 56.7 mm |
| $b_{c,eff}$ | 1000.0 mm |
| $A_{c,eff}$ | 56680 mm ² |
| $\rho_{p,eff}$ | 0.02772 - |
| k_t | 0.4 - |
| k_1 | 0.8 - |
| k_2 | 0.5 - |
| k_3 | 3.4 - |
| k_4 | 0.425 - |
| $f_{ct,eff}$ | 2.896 MPa |
| α_e | 7.000 - |
| σ_s | 133 MPa |
| ϵ_{sm} | 0.000396 - |
| $5*(c+\phi/2)$ | 300.0 mm |
| $1.3*(h-x)$ | 221.1 mm |
| $k_3*c+k_1*k_2*k_4*\phi/r$ | 292.7 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona esterna barra | 292.7 mm |
| w_d . zona esterna alla barra | 0.116 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona barra | 292.7 mm |
| w_d . zona barra | 0.116 mm |

Per quanto riguarda la sezione 3, lo stato limite di formazione delle fessure viene superato e pertanto si procede a verificare lo stato limite di apertura delle fessure, valutando la tensione di trazione alla quale sono soggette le barre d'armatura (Figura 7-36). Dal calcolo analitico dell'apertura delle fessure riportato nella tabella seguente si evince che la verifica a fessurazione risulta soddisfatta.

Titolo: **ITx2 SLE sez. 3**

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 100 | 25 | 1 | 5.65 | 6 |
| | | | 2 | 15.71 | 19 |

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.



Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo

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

Metodo n

Materiali

| | |
|---|--|
| B450C | C30/37 |
| ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> % | ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> % |
| I_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm ² | ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> % |
| E_s <input type="text" value="200 000"/> N/mm ² | I_{cd} <input type="text" value="17"/> |
| E_s/E_c <input type="text" value="15"/> | I_{cc}/I_{cd} <input type="text" value="0.8"/> <input type="text" value="17"/> |
| ϵ_{syd} <input type="text" value="1.957"/> % | $\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="11.5"/> |
| $\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm ² | τ_{co} <input type="text" value="0.6933"/> |
| | τ_{c1} <input type="text" value="2.029"/> |

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_s %

d cm

x x/d

δ 1

Verifica

N° iterazioni:

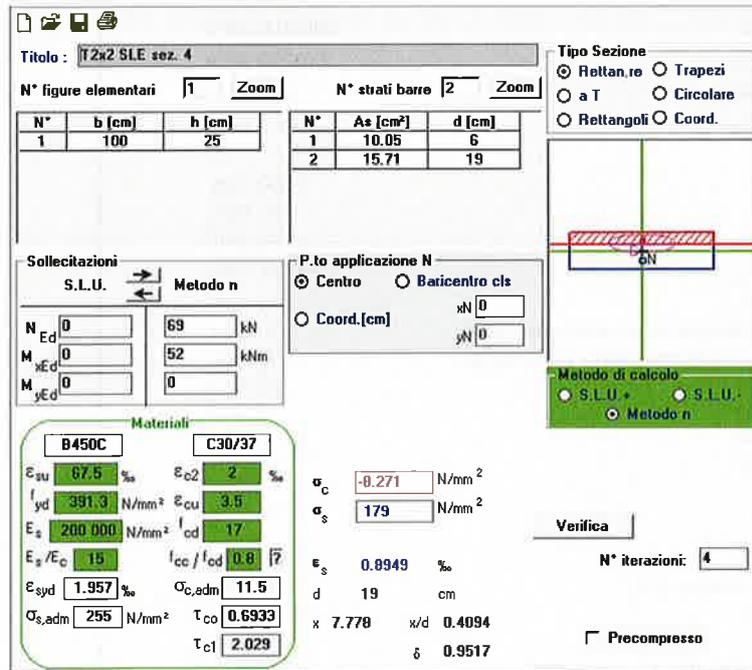
Precompresso

FIGURA 7-36: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NELLE BARRE PER LA SEZIONE 3

NTC2008 - C.M. 617 2/2/09

| | |
|---|-----------------------|
| f_{ck} | 30.0 MPa |
| γ_c | 1.5 - |
| f_{cd} | 17.0 MPa |
| f_{ctm} | 3.476 MPa |
| σ_t | 2.896 MPa |
| E_c | 30000.0 MPa |
| E_s | 210000 MPa |
| M_{Ed} | 52.0 KN*m |
| N_{Ed} | -191.0 KN |
| b | 1000 mm |
| h | 250 mm |
| A'_s | 565 mm ² |
| A_s | 1571 mm ² |
| d | 190 mm |
| c ricoprimento netto arm. tesa | 60 mm |
| ricoprimento barra più esterna | 50 mm |
| ϕ_1 | 20 mm |
| n_1 | 5 - |
| ϕ_2 | 0 mm |
| n_2 | 0 - |
| ϕ_{eq} | 20.0 mm |
| s orizzontale | 100 mm |
| x | 9.089 mm |
| $2.5(h-d)$ | 150.0 mm |
| $(h-x)/3$ | 80.3 mm |
| $h/2$ | 125.0 mm |
| $h_{c,eff}$ | 80.3 mm |
| $b_{c,eff}$ | 1000.0 mm |
| $A_{c,eff}$ | 80304 mm ² |
| $\rho_{p,eff}$ | 0.01956 - |
| k_t | 0.4 - |
| k_1 | 0.8 - |
| k_2 | 0.5 - |
| k_3 | 3.4 - |
| k_4 | 0.425 - |
| $f_{ct,eff}$ | 2.896 MPa |
| α_e | 7.000 - |
| σ_s | 138 MPa |
| ϵ_{sm} | 0.000394 - |
| $5*(c+\phi/2)$ | 300.0 mm |
| $1.3*(h-x)$ | 313.2 mm |
| $k_3*c+k_1*k_2*k_4*\phi/r$ | 343.8 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona esterna barra | 343.8 mm |
| w_d . zona esterna alla barra | 0.136 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona barra | 343.8 mm |
| w_d . zona barra | 0.136 mm |

Per quanto riguarda la sezione 4, lo stato limite di formazione delle fessure viene superato e pertanto si procede a verificare lo stato limite di apertura delle fessure, valutando la tensione di trazione alla quale sono soggette le barre d'armatura (Figura 7-37). Dal calcolo analitico dell'apertura delle fessure riportato nella tabella seguente si evince che la verifica a fessurazione risulta soddisfatta.



Titolo: T2x2 SLE sez. 4

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

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 100 | 25 | 1 | 10.05 | 6 |
| | | | 2 | 15.71 | 19 |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 0 kNm
M_{yEd}: 0

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

Materiali: B450C C30/37

| | | |
|--|-----------------------|-------------------------------------|
| ϵ_{su} 87.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ | σ_c -0.271 N/mm ² |
| f_{yd} 391.3 N/mm ² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ | σ_s 179 N/mm ² |
| E_s 200 000 N/mm ² | f_{cc}/f_{cd} 0.8 | ϵ_s 0.8949 ‰ |
| E_s/E_c 15 | $\sigma_{c,adm}$ 11.5 | d 19 cm |
| ϵ_{syd} 1.957 ‰ | τ_{co} 0.6933 | x 7.778 w/d 0.4094 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ² | τ_{ct} 2.029 | δ 0.9517 |

Verifica: N° iterazioni: 4

Precompresso

FIGURA 7-37: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NELLE BARRE PER LA SEZIONE 4

NTC2008 - C.M. 617 2/2/09

| | |
|---|-----------------------|
| f_{ck} | 30.0 MPa |
| γ_c | 1.5 - |
| f_{cd} | 17.0 MPa |
| f_{ctm} | 3.476 MPa |
| σ_t | 2.896 MPa |
| E_c | 30000.0 MPa |
| E_s | 210000 MPa |
| M_{Ed} | 52.0 KN*m |
| N_{Ed} | -69.0 KN |
| b | 1000 mm |
| h | 250 mm |
| A'_s | 1005 mm ² |
| A_s | 1571 mm ² |
| d | 190 mm |
| c ricoprimento netto arm. tesa | 60 mm |
| ricoprimento barra più esterna | 50 mm |
| ϕ_1 | 20 mm |
| n_1 | 5 - |
| ϕ_2 | 0 mm |
| n_2 | 0 - |
| ϕ_{eq} | 20.0 mm |
| s orizzontale | 100 mm |
| x | 77.78 mm |
| $2.5(h-d)$ | 150.0 mm |
| $(h-x)/3$ | 57.4 mm |
| $h/2$ | 125.0 mm |
| $h_{c,eff}$ | 57.4 mm |
| $b_{c,eff}$ | 1000.0 mm |
| $A_{c,eff}$ | 57407 mm ² |
| $\rho_{p,eff}$ | 0.02737 - |
| k_t | 0.4 - |
| k_1 | 0.8 - |
| k_2 | 0.5 - |
| k_3 | 3.4 - |
| k_4 | 0.425 - |
| $f_{ct,eff}$ | 2.896 MPa |
| α_e | 7.000 - |
| σ_s | 179 MPa |
| ϵ_{sm} | 0.000612 - |
| $5*(c+\phi/2)$ | 300.0 mm |
| $1.3*(h-x)$ | 223.9 mm |
| $k_3*c+k_1*k_2*k_4*\phi/r$ | 294.2 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona esterna barra | 294.2 mm |
| w_d . zona esterna alla barra | 0.180 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona barra | 294.2 mm |
| w_d . zona barra | 0.180 mm |

Per quanto riguarda la sezione 5, lo stato limite di formazione delle fessure viene superato e pertanto si procede a verificare lo stato limite di apertura delle fessure, valutando la tensione di trazione alla quale sono soggette le barre d'armatura (). Dal calcolo analitico dell'apertura delle fessure riportato nella tabella seguente si evince che la verifica a fessurazione risulta soddisfatta.

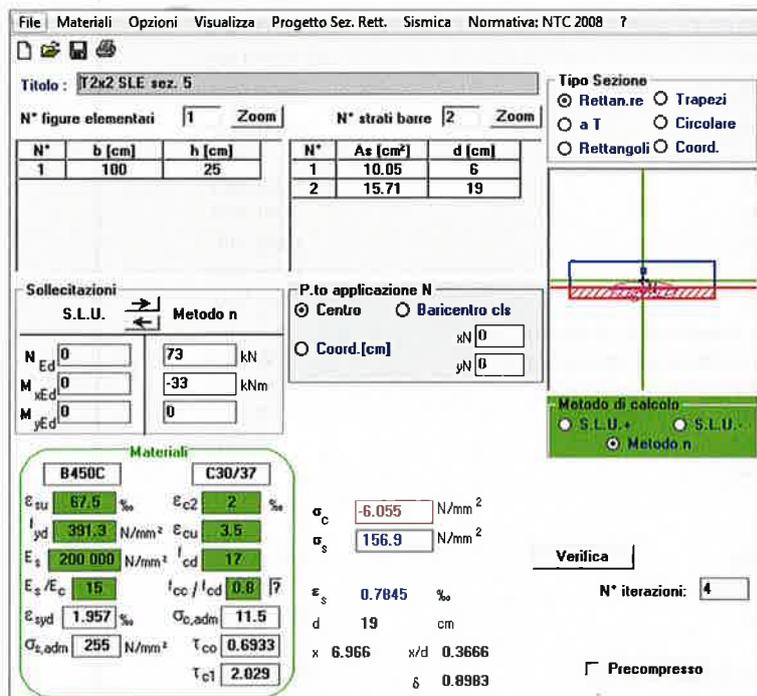


FIGURA 7-38: CALCOLO MASSIMA TENSIONE DI TRAZIONE NELLE BARRE PER LA SEZIONE 5

NTC2008 - C.M. 617 2/2/09

| | |
|---|-----------------------|
| f_{ck} | 30.0 MPa |
| γ_c | 1.5 - |
| f_{cd} | 17.0 MPa |
| f_{ctm} | 3.476 MPa |
| σ_t | 2.896 MPa |
| E_c | 30000.0 MPa |
| E_s | 210000 MPa |
| M_{Ed} | -33.0 KN*m |
| N_{Ed} | -73.0 KN |
| b | 1000 mm |
| h | 250 mm |
| A'_s | 1005 mm ² |
| A_s | 1571 mm ² |
| d | 190 mm |
| c ricoprimento netto arm. tesa | 60 mm |
| ricoprimento barra più esterna | 50 mm |
| ϕ_1 | 20 mm |
| n_1 | 5 - |
| ϕ_2 | 0 mm |
| n_2 | 0 - |
| ϕ_{eq} | 20.0 mm |
| s orizzontale | 100 mm |
| x | 69.66 mm |
| $2.5(h-d)$ | 150.0 mm |
| $(h-x)/3$ | 60.1 mm |
| $h/2$ | 125.0 mm |
| $h_{c,eff}$ | 60.1 mm |
| $b_{c,eff}$ | 1000.0 mm |
| $A_{c,eff}$ | 60113 mm ² |
| $\rho_{p,eff}$ | 0.02613 - |
| k_t | 0.4 - |
| k_1 | 0.8 - |
| k_2 | 0.5 - |
| k_3 | 3.4 - |
| k_4 | 0.425 - |
| $f_{ct,eff}$ | 2.896 MPa |
| α_e | 7.000 - |
| σ_s | 157 MPa |
| ϵ_{sm} | 0.000498 - |
| $5*(c+\phi/2)$ | 300.0 mm |
| $1.3*(h-x)$ | 234.4 mm |
| $k_3*c+k_1*k_2*k_4*\phi/r$ | 300.1 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona esterna barra | 300.1 mm |
| w_d . zona esterna alla barra | 0.149 mm |
| $\Delta_{s,max}$ - zona barra | 300.1 mm |
| w_d . zona barra | 0.149 mm |

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: **130 kg/mc**

Piedritti: **120 kg/mc**

Soletta inferiore: **170 kg/mc**

La media pesata dell'incidenza di armatura lenta sull'intero scatolare è pari a: **140 kg/mc**

| | Numero | Spessore soletta (m) | Lunghezza (m) | Volume (mc/m) | Armatura Trasversale | | | | | | Armatura Longitudinale | | | | | | Incidenza (kg/mc) | | |
|-------------------|--------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|--------|----------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|----------|--------|----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | | Armatura | Ø (mm) | N _{barre/m} | Area (mm ²) | Peso 1 barra (kg/m) | Coeff. Maggiorativo | Peso armatura (kg) | Armatura | Ø (mm) | N _{barre/m} | Area (mm ²) | Peso 1 barra (kg/m) | | Coeff. Maggiorativo | Peso armatura (kg) |
| Soletta superiore | 1 | 0.25 | 2.5 | 0.625 | Ø16/20 | 16 | 5 | 1005 | 1.58 | 1.10 | 9 | Ø12/20 | 12 | 5 | 565 | 0.89 | 1.10 | 5 | 130 |
| | | | | | Ø20/20 | 20 | 5 | 1571 | 2.47 | 1.10 | 14 | Ø12/20 | 12 | 5 | 565 | 0.89 | 1.10 | 5 | |
| Piedritti | 2 | 0.25 | 2 | 1 | Ø12/20 | 12 | 5 | 565 | 0.89 | 1.10 | 5 | Ø12/20 | 12 | 5 | 565 | 0.89 | 1.10 | 5 | 120 |
| | | | | | Ø20/20 | 20 | 5 | 1571 | 2.47 | 1.10 | 14 | Ø12/20 | 12 | 5 | 565 | 0.89 | 1.10 | 5 | |
| Soletta inferiore | 1 | 0.25 | 2.5 | 0.625 | Ø16/10 | 16 | 10 | 2011 | 1.58 | 1.10 | 17 | Ø12/20 | 12 | 5 | 565 | 0.89 | 1.10 | 5 | 170 |
| | | | | | Ø20/20 | 20 | 5 | 1571 | 2.47 | 1.10 | 14 | 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.

