ANAS S.p.A.

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

# S.S.45 DELLA VAL DI TREBBIA

## AMMODERNAMENTO DELLA STRADA STATALE N. 45 DELLA VAL TREBBIA NEL TRATTO CERNUSCA-RIVERGARO

# PROGETTO DEFINITIVO


PROGETTAZIONE: ANAS DPRL

I PROGETTISTI:
*ing. Antonio SCALAMANDRÉ*
*Ordine Ing. di Frosinone n.1063*

IL GEOLOGO:
*geol. Maurizio MARTINO*
*Ordine Geol. del Lazio ES n.457*

IL RESPONSABILE DEL SIA:
*Ing. Laura TROIANI*
*Ordine Arch. di Roma n.A-31890*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
*geom. E PAIELLA*

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
*ing. Anna Maria NOSARI*

SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE:

STUDIO CORONA

Ingegneria del Territorio s.r.l.

CONSORZIO UNING Soc.Cons. a r.l.
Società designata: GA&M s.r.l.

SETAC Srl
Servizi & Engineering
Trasporti Ambiente Costruzioni

ARKE' INGEGNERIA s.r.l.
Via Imperatore Traiano n.4 - 70126 Bari

ECOPLAN
Società di Ingegneria ed Architettura Ambientale

E&G Engineering & Graphics S.r.l.

DOTT. GEOL. DANILO GALLO

ING. RENATO DEL PRETE


PROTOCOLLO

DATA

HA01

## H - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE D'ARTE MAGGIORI - PONTI

### HA – ASSE 1 - PO01 PONTE SUL RIO SAVIGNANO L=25.00m

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO DELL'OPERA

| CODICE PROGETTO | NOME FILE | REVISIONE | SCALA: |
|---|---|---|---|
| PROGETTO: BO0067 / LIV. PROG.: D / N. PROG.: 1801 | HA01_P00PO01STRRE01_B.dwg | | |
| | CODICE ELAB.: P00PO01STRRE01 | B | - |

| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| C | | | | | |
| B | EMISSIONE A SEGUITO DI ISTUTTORIA ANAS | GENNAIO 2021 | | | |
| A | EMISSIONE | APRILE 2020 | | | |

SOMMARIO

1 PREMESSA 6
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 9
3 UNITA' DI MISURA 9
4 MATERIALI 10
4.1 Calcestruzzi ..... 10
4.1.1 Calcestruzzo per solette (UNI 11104-2016) ..... 10
4.1.2 Calcestruzzo per lastre prefabbricate (UNI 11104-2016) ..... 10
4.1.3 Calcestruzzo per baggioli di appoggio (UNI 11104-2016) ..... 11
4.1.4 Calcestruzzo per velette prefabbricate (UNI 11104-2016) ..... 11
4.1.5 Calcestruzzo per strutture di fondazione delle sottostrutture (UNI 11104-2016) ..... 12
4.1.6 Calcestruzzo per strutture di elevazione delle sottostrutture (UNI 11104-2016) ..... 12
4.1.7 Calcestruzzo per pali di fondazione (UNI 11104-2016) ..... 13
4.2 Acciai ..... 13
4.2.1 Acciaio per armatura lenta ..... 13
4.2.2 Acciaio per elementi in carpenteria metallica ..... 13
4.2.3 Piolature tipo Nelson ..... 13
4.2.4 Bullonature e dadi ..... 14
4.2.5 Classe di esecuzione ..... 14
5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI ..... 15
5.1 Definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici di calcolo ..... 15
5.2 Approccio di calcolo ..... 16
6 ZONIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA ..... 17
6.1 Identificazione della località e dei parametri sismici generali ..... 17
6.2 Parametri di calcolo ..... 19
6.2.1 Parametri numerici sismici ..... 19
6.2.2 Categoria dei terreni di fondazione e categoria topografica ..... 20
6.2.3 Categoria dei terreni di fondazione e categoria topografica ..... 20
6.2.4 Fattori di struttura ..... 20
6.3 Definizione dello spettro di progetto elastico per lo SLV ..... 21
6.4 Definizione dello spettro di progetto smorzato per lo SLV ..... 24
6.5 Definizione dello spettro di progetto smorzato per lo SLC ..... 25
7 CLASSIFICAZIONE DEI PROFILI METALLICI ..... 26
7.1 Travi principali ..... 27
7.1.1 Concio 01A (T) ..... 27
7.1.2 Concio 01A (G) ..... 28
7.1.3 Concio 02A ..... 29
7.1.4 Concio 03A (G) ..... 30
7.1.5 Concio 03A (T) ..... 31
7.2 Trasversi flessionali ..... 32
7.2.1 Trasversi di testata ..... 32
7.2.2 Trasversi corrente ..... 33
8 DEFINIZIONE DELLE LARGHEZZE COLLABORANTI ..... 34
8.1 Campata da spalla "A" a spalla "B" ..... 34
8.1.1 Travi di bordo T1 ..... 34
8.1.2 Travi interne T2 – T3 – T4 ..... 34

8.1.3 Travi di bordo T5 ..... 35
8.2 Riepilogo delle larghezze collaboranti ..... 35
9 ANALISI DEI CARICHI 36
9.1 Peso proprio delle strutture metalliche ..... 36
9.2 Peso proprio della soletta in cemento armato ..... 36
9.3 Peso proprio della pavimentazione stradale ..... 36
9.4 Peso proprio dei cordoli laterali in cemento armato ..... 36
9.5 Peso proprio delle barriere guard - rail ..... 36
9.6 Peso proprio del parapetto ..... 36
9.7 Peso proprio delle velette laterali prefabbricate in cemento armato ..... 36
9.8 Azione del ritiro sulla soletta ..... 37
9.9 Effetti della viscosità e definizione dei coefficienti di omogeneizzazione ..... 39
9.10 Carichi accidentali ..... 39
9.10.1 Carichi viaggianti da traffico ..... 39
9.10.2 Carico da folla compatta ..... 40
9.10.3 Disposizione dei carichi accidentali viaggianti ..... 40
9.10.4 Azione termica differenziale ..... 43
9.10.5 Azione longitudinale della frenatura ..... 54
9.10.6 Azione trasversale del vento ..... 55
9.11 Carichi agenti sulle spalle ..... 58
9.11.1 Peso proprio degli elementi strutturali in cemento armato ..... 58
9.11.2 Spinta dei terreni a tergo della spalla ..... 58
9.11.3 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi permanenti a tergo della spalla ..... 58
9.11.4 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi accidentali a tergo della spalla ..... 59
9.12 Azione sismica sulle sottostrutture ..... 59
9.12.1 Azione inerziale delle masse ..... 59
9.12.2 Sovraspinta dinamica dei terreni ..... 59
10 COMBINAZIONI DI CARICO 60
10.1 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni quasi- permanenti 60
10.2 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni frequenti ..... 60
10.3 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni caratteristiche ..... 60
10.4 Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo statiche ..... 61
10.5 Combinazione di carico sismiche ..... 62
11 ANALISI STRUTTURALE – MODELLI DI CALCOLO .....63
11.1 Generalità ..... 63
11.2 Geometria e mesh ..... 63
11.3 Modellazione delle travi principali ..... 68
11.3.1 Concio 01A (T) ..... 69
11.3.2 Concio 01A (G) ..... 70
11.3.3 Concio 02A ..... 71
11.3.4 Concio 03A (G) ..... 72
11.3.5 Concio 03A (T) ..... 73
11.4 Modellazione dei trasversi e della soletta ..... 74
11.4.1 Trasversi di testata ..... 74
11.4.2 Trasversi corrente ..... 75
11.4.3 Soletta ..... 76
11.5 Carichi applicati ..... 76
11.6 Valutazione della azioni sollecitanti caratteristiche sulle travi principali - Output grafico 88

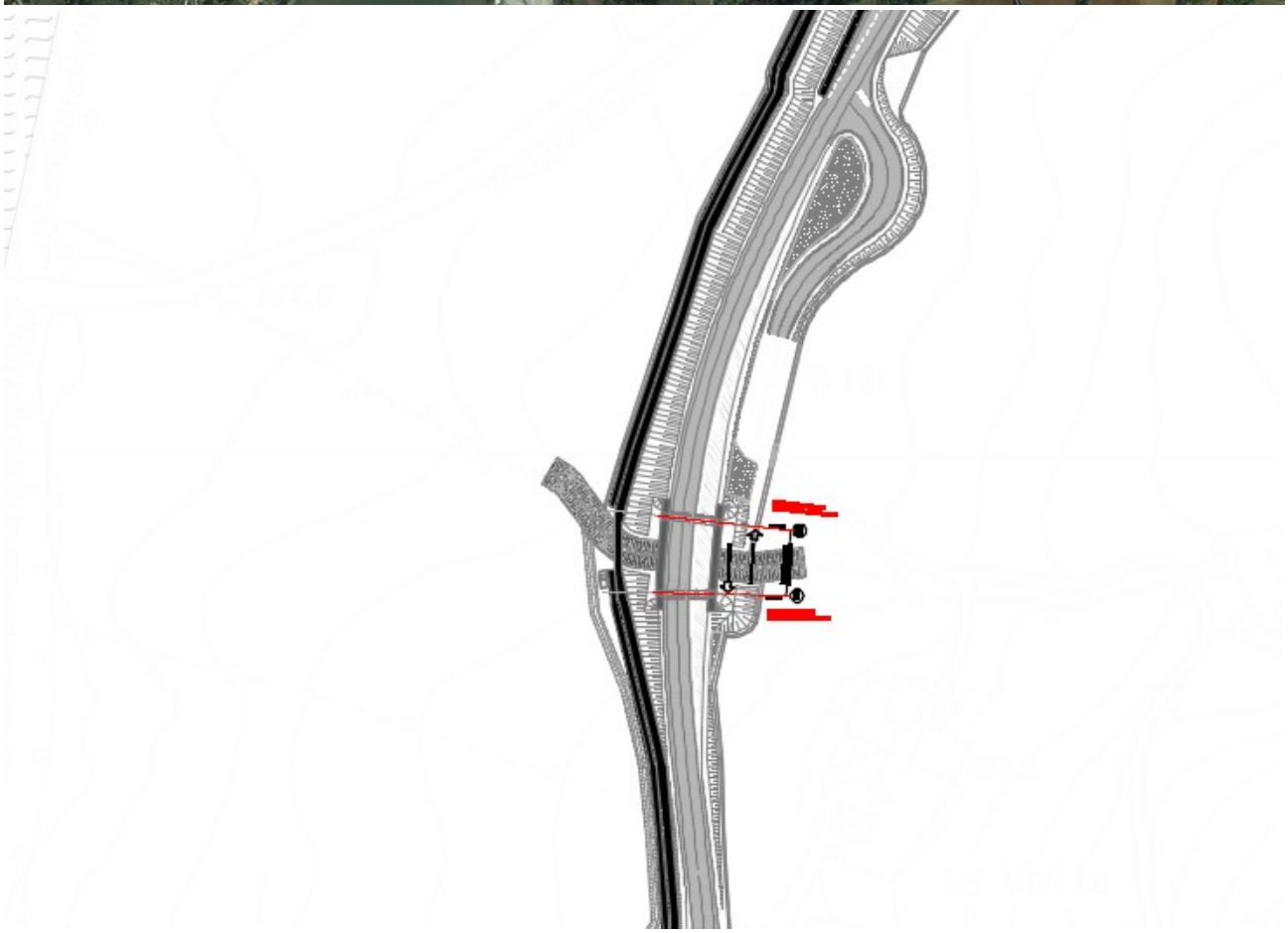
11.6.1 Fase 1 - Peso proprio carpenteria metallica ..... 88
11.6.2 Fase 1 - Peso proprio soletta ..... 89
11.6.3 Fase 2 - Sovraccarichi permanenti ..... 90
11.6.4 Fase 3 - Inviluppo carichi da traffico ..... 91
11.6.5 Fase 3 – Azione trasversale del vento (+) (effetto "tira – spingi" sulle travi principali) 92
11.6.6 Fase 3 – Azione trasversale del vento (-) (effetto "tira – spingi" sulle travi principali) 93
11.6.7 Valutazione della azioni sollecitanti caratteristiche sui trasversi- Output grafico ..... 94
11.6.8 Fase 1 - Peso proprio carpenteria metallica ..... 94
11.6.9 Fase 1 - Peso proprio soletta ..... 96
11.6.10 Fase 2 - Sovraccarichi permanenti ..... 98
11.6.11 Fase 3 - Inviluppo carichi da traffico ..... 100
11.6.12 Fase 3 - Azione trasversale del vento (+) (effetto "tira – spingi" sulle travi principali) 102
11.6.13 Azione normale ..... 102
11.6.14 Fase 3 – Azione trasversale del vento (-) (effetto "tira – spingi" sulle travi principali) 104
12 ANALISI E VERIFICA DELL'IMPALCATO ..... 106
12.1 Generalità ..... 106
12.2 Verifiche delle travi metalliche principali ..... 106
12.2.1 Verifiche allo Stato Limite Ultimo ..... 106
12.2.2 Stato Limite di Fatica ..... 131
12.2.3 Verifiche di deformabilità e calcolo della contromonta ..... 140
12.3 Verifica in fase di montaggio ..... 141
12.4 Verifica della connessione trave – soletta ..... 141
12.4.1 Caratteristiche piolatura corrente ..... 142
12.4.2 Detailing ..... 142
12.4.3 Verifiche allo Stato Limite Ultimo ..... 144
12.4.4 Stato Limite di Fatica ..... 146
12.5 Trasversi flessionali ..... 154
12.5.1 Riepilogo delle azioni sollecitanti caratteristiche ..... 154
12.5.2 Combinazioni di carico adottate ..... 156
12.5.3 Riepilogo delle azioni sollecitanti massime di calcolo ..... 156
12.5.4 Trasversi di testata - Verifiche strutturali ..... 157
12.5.5 Trasversi correnti- Verifiche strutturali ..... 158
13 ANALISI E VERIFICA DELLA SOLETTA ..... 159
13.1 Verifica delle lastre prefabbricate tralicciate in fase di costruzione ..... 160
13.2 Analisi trasversale della soletta ..... 162
13.2.1 Modello di calcolo ..... 162
13.3 Calcolo delle azioni sollecitanti – Sezione di spiccato dello sbalzo ..... 163
13.3.1 Peso proprio e carichi permanenti portati ..... 163
13.3.2 Carichi accidentali da traffico ..... 165
13.3.3 Carichi accidentali da folla compatta ..... 168
13.3.4 Urto da autoveicolo in svio ..... 171
13.4 Calcolo delle azioni sollecitanti – Sezione in campata ..... 172
13.4.1 Peso proprio e carichi permanenti portati ..... 172
13.4.2 Carichi accidentali da traffico ..... 175

13.4.3 Carichi accidentali da folla compatta ..... 178
13.5 Calcolo delle azioni sollecitanti – Sezione di appoggio ..... 181
13.5.1 Peso proprio e carichi permanenti portati ..... 181
13.5.2 Carichi accidentali da traffico ..... 184
13.5.3 Carichi accidentali da folla compatta ..... 188
13.6 Riepilogo delle azioni sollecitanti ..... 191
13.7 Verifiche strutturali ..... 198
13.7.1 Sezione di spiccato dello sbalzo ..... 198
13.7.2 Sezione in mezzeria delle campate – Verifiche strutturali ..... 208
13.7.3 Sezione all'appoggio centrale – Verifiche strutturali ..... 215
13.8 Verifiche a punzonamento ..... 224
13.8.1 Condizioni di carico ..... 224
13.8.2 Verifica a punzonamento – Schema di carico 1 ..... 226
13.8.3 Verifica a punzonamento – Schema di carico 2 ..... 228
13.8.4 Verifica a punzonamento – Schema di carico 3 ..... 230
13.8.5 Verifica a punzonamento – Schema di carico 4 ..... 232
14 DISPOSITIVI DI APPOGGIO, DI GIUNTO E VARCHI .....234
14.1 Dispositivi di appoggio – Isolatori sismici ..... 234
14.2 Dispositivi di appoggio isolatori – Deformazioni orizzontali – Sisma SLC ..... 235
14.3 Dispositivi di appoggio isolatori – Deformazioni orizzontali – Statica SLU ..... 236
14.4 Dispositivi di giunto ..... 237
14.5 Varchi ..... 237
15 ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE .....238
15.1 Valutazione delle azioni sollecitanti sul paraghiaia ..... 238
15.1.1 Sezione di base del paraghiaia – Valutazione delle azioni sollecitanti caratteristiche 239
15.1.2 Sezione di base del paraghiaia – Valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo .. 240
15.2 Sezione di base del paraghiaia – Verifiche strutturali ..... 241
15.2.1 Sezione e armatura di verifica ..... 241
15.2.2 Verifica allo Stato Limite di limitazione delle tensioni ..... 241
15.2.3 Verifica allo Stato Limite di fessurazione ..... 243
15.2.4 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione retta ..... 245
15.2.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio ..... 246
15.3 Sezione di base della trave di appoggio dell'impalcato – Valutazione delle azioni sollecitanti caratteristiche ..... 248
15.4 Sezione di base della trave di appoggio dell'impalcato – Valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo ..... 251
15.5 Valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo sui pali di fondazione trasmesse dalla spalla 257
15.6 Azioni sollecitanti sul singolo palo connesse alla deformabilità orizzontale del terreno 259
15.6.1 Valutazione della costante di reazione orizzontale del terreno ..... 259
15.6.2 Spalla A - Combinazione SLE – Quasi Permanente ..... 261
15.6.3 Spalla A - Combinazione SLE – Frequente ..... 262
15.6.4 Spalla A - Combinazione SLE – Rara ..... 263
15.6.5 Spalla A - Combinazione SLU – STR ..... 264
15.6.6 Spalla A - Combinazione SLV ..... 265
15.6.7 Spalla B - Combinazione SLE – Quasi Permanente ..... 266
15.6.8 Spalla B - Combinazione SLE – Frequente ..... 267

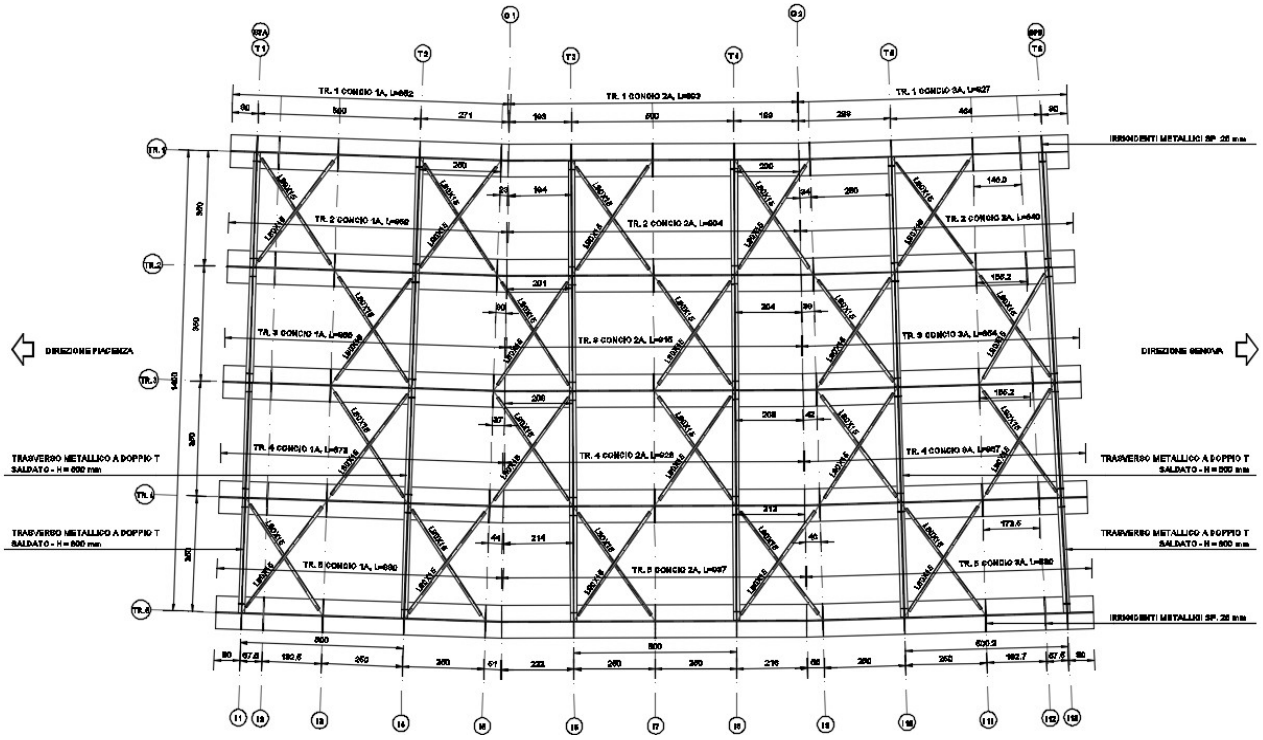
15.6.9 Spalla B - Combinazione SLE – Rara ..... 268
15.6.10 Spalla B - Combinazione SLU – STR ..... 269
15.6.11 Spalla B - Combinazione SLV ..... 270
15.7 Pali di fondazione - Verifiche strutturali ..... 271
15.7.1 Sezione ed armatura di verifica ..... 271
15.7.2 Verifica allo Stato Limite di limitazione delle tensioni ..... 271
15.7.3 Verifica allo Stato Limite di fessurazione ..... 277
15.7.4 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione ..... 281
15.7.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio ..... 285
15.8 Trave a cuscino – Verifiche strutturali in direzione trasversale ..... 286
15.8.1 Stato Limite di Esercizio – Combinazione Quasi Permanente ..... 287
15.8.2 Stato Limite di Esercizio – Combinazione Frequente ..... 288
15.8.3 Stato Limite di Esercizio – Combinazione rara ..... 288
15.8.4 Stato Limite Ultimo – STR ..... 288
15.8.5 Stato Limite di Salvaguardia della Vita ..... 288
16 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI DI FONDAZIONE .....289
16.1 Formulazioni adottate per la verifica del carico limite ultimo ..... 289
16.2 Verifiche di portanza verticale (carico limite ultimo) e laterale del palo ..... 291
16.2.1 Spalla A ..... 291
16.2.2 Spalla B ..... 298
17 CALCOLO DELLE INCIDENZE 306
17.1 Incidenza della carpenteria metallica dell'impalcato ..... 306
17.2 Incidenza delle armature ..... 307

# 1 PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche strutturali dell'impalcato a struttura mista acciaio – calcestruzzo, delle sottostrutture e delle fondazioni del ponte "Rio Savignano" nell'ambito del progetto definitivo "*S.S. n. 45 "della Val Trebbia" – Ammodernamento della Strada Statale n. 45 della Val Trebbia nel tratto Cernusca - Rivergaro*".



Nell'immagine successiva è riportata il dettaglio planimetrico dell'opera:




Il viadotto, con sistema costruttivo in acciaio calcestruzzo, presenta una singola campata avente la seguente lunghezza (valutate tra gli assi appoggi in asse impalcato):

- Campata 1 → 25,00m

Considerata una lunghezza retro – trave pari a **0,80 m**, la lunghezza totale in asse impalcato risulta paria **26,60 m**. Lo schema di vincolo prevede l'adozione di appoggi isolatori elastomerici armati ad alto smorzamento

La sezione trasversale dell'impalcato presenta **5 travi** a "*doppio T*" in composizione saldata, disposte ad un interasse trasversale di **3,50 m**, con altezza costante e pari a **1,25 m**.

I traversi di testata presentano un profilo a "*doppio T*" con altezza costante e pari a **0,80 m**, mentre i traversi correnti presentano un profilo a "*doppio T*" con altezza costante e pari a **0,60 m.**

Le travi principali sono irrigidite mediante Stiffeners verticali, mentre non sono presenti irrigidenti longitudinali.

La soletta presenta una larghezza variabile con un massimo pari **20,44 m** e un minimo pari a **19,92 m** e spessore costante pari a **27 cm** (**22 cm** gettati in opera + **5 cm** di lastre prefabbricate tralicciate appoggiate sulle travi principali).

La connessione soletta–travi è realizzata mediante pioli elettrosaldati tipo Nelson.

Relativamente alle fasi lavorative si prevede:

***Fase 1****:* montaggio travi in acciaio e traversi; l'impalcato viene sollevato dal basso mediante gru e giuntato utilizzando opere provvisionali.

***Fase 2****:* posizionamento delle predalle. Si procede al getto della soletta che avverrà anch'esso per fasi; in generale si procederà prima al getto delle zone di campata (70% della luce) quindi alle zone rimanenti agli appoggi.

***Fase 3****:* realizzazione delle finiture dell'impalcato.

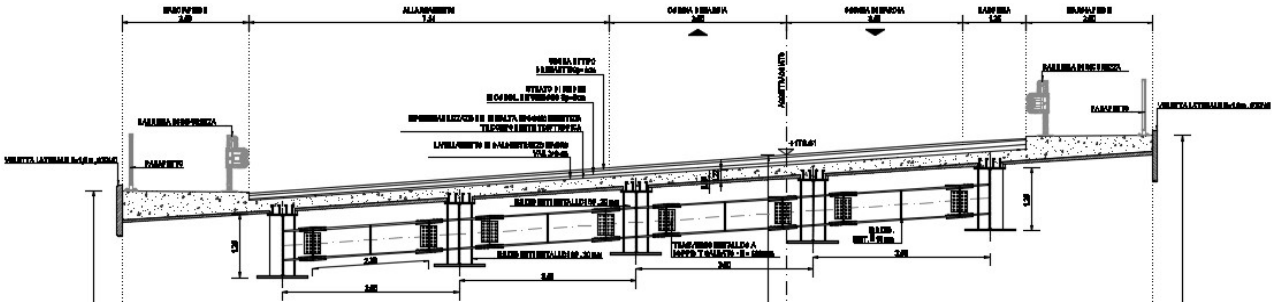
In corrispondenza di ogni trave è previsto l'utilizzo di dispositivi di appoggio costituiti da isolatori in elastomero armato ad alto smorzamento (**$\xi_{eq} \cong$ 15%**).

L'impalcato in oggetto ha in sintesi le seguenti caratteristiche principali, valutate sulla trave di lunghezza maggiore:

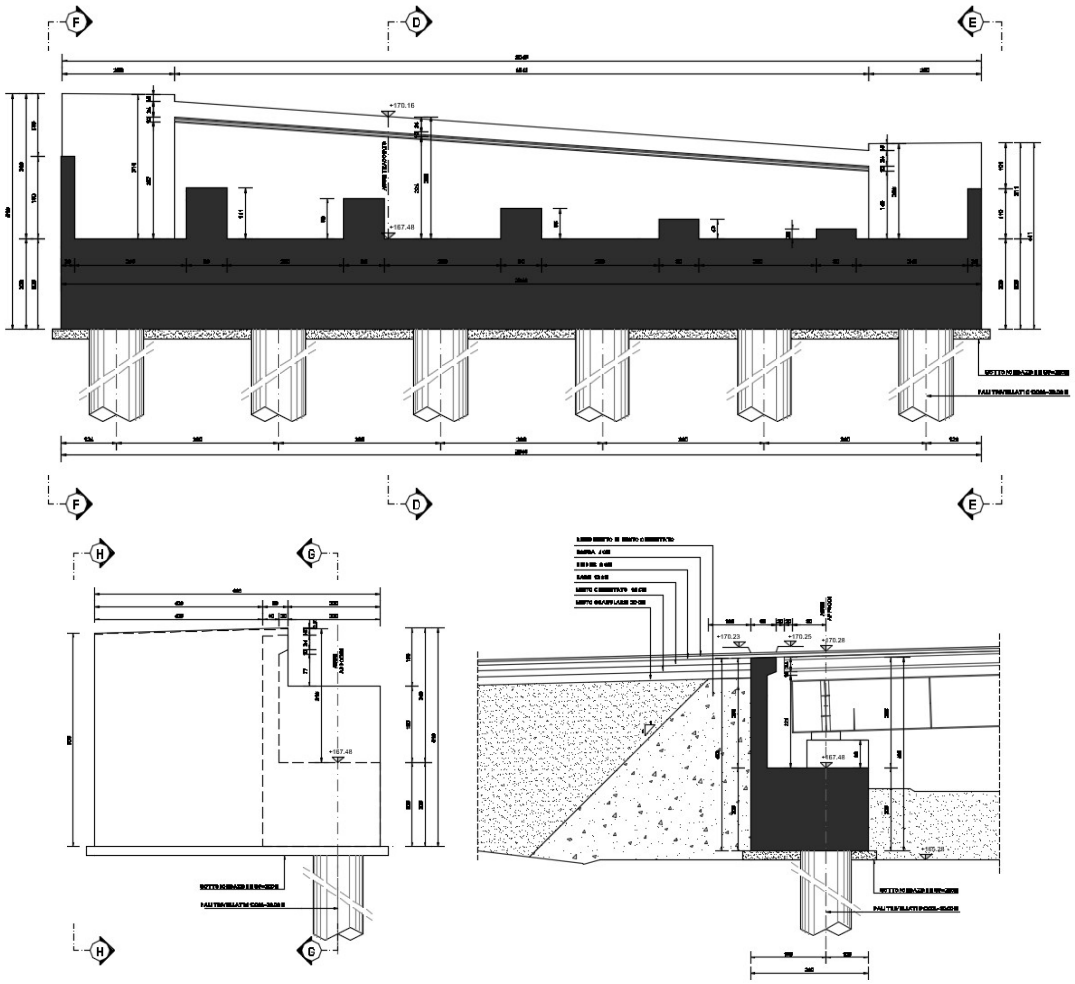
Luce di calcolo: **25,12 m**

| | |
|---|---|
| Lunghezza trave: | **26,92 m** |
| Larghezza impalcato: | **20,44 m** |
| Interasse travi: | **3,50 m** |
| Numero travi: | **5** |
| Spessore della soletta: | **0,27 m** |

Nell'immagine successiva è riportata la sezione trasversale dell'opera:



Le sottostrutture (spalle) sono costituite da travi a cuscino con sezione trasversale 280 x 200 cm di lunghezza pari a 20,46 m, poggianti su n. 6 pali di fondazione trivellati Ø1200, di lunghezza pari a 25 m.
Il paraghiaia presenta un'altezza massima pari a 3,22 m con uno spessore pari a 40 cm.
I muri laterali posteriori presentano una sezione trasversale 75 x 522 cm, con una lunghezza pari a 4,00 m.



## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione dei calcoli statici ci si è attenuti alle prescrizioni della Normativa vigente; in particolare:

- **Decreto Ministeriale 17/01/2018 "**Norme Tecniche per le Costruzioni"
- **Circolare Min. 21/01/2019, n° 7/C.S.LL.PP.** "Circolare esplicativa delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018"
- **UNI EN 1990 (Eurocodice 0)** → Base della progettazione strutturale
- **UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1 – Parte 2)** → Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti
- **UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1 – Parte 4)** → Azioni sulle strutture – Azione del vento
- **UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1 – Parte 5)** → Azioni sulle strutture – Azioni termiche
- **UNI EN 1992-1 (Eurocodice 2 – Parte 1)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Regole generali
- **UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2 – Parte 2)** → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Ponti
- **UNI EN 1994 (Eurocodice 4)** → Progettazione delle strutture composte acciaio - calcestruzzo
- **UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8 – Parte 2)** → Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti
- **UNI EN 206-1:2016** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità
- **UNI 11104:2016** → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 2016-1

## 3 UNITA' DI MISURA

Nei calcoli è stato fatto uso delle seguenti unità di misura:

- per i carichi: $kN/m^2$, kN/m, kN
- per i momenti: kNm
- per i tagli e sforzi normali: kN
- per le tensioni: $N/mm^2$
- per le accelerazioni: $m/sec^2$

# 4 MATERIALI

## 4.1 CALCESTRUZZI

### 4.1.1 CALCESTRUZZO PER SOLETTE (UNI 11104-2016)

Per la soletta dell'impalcato è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C32/40 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **40,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **33,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **41,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **18,81** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **3,10** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **2,17** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,45** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **36.049,97** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **32.811,24** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XF4**
- Classe di consistenza: **S6**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,45**
- Contenuto minimo di cemento: **360 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **25 mm**
- Copriferro netto minimo: **30 mm**

### 4.1.2 CALCESTRUZZO PER LASTRE PREFABBRICATE (UNI 11104-2016)

Per le lastre prefabbricate è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C32/40 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **40,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **33,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **41,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **18,81** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **3,10** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **2,17** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,45** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **36.049,97** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **32.811,24** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XC4**
- Classe di consistenza: **S4**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,50**
- Contenuto minimo di cemento: **320 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **16 mm**

- Copriferro minimo netto: **30 mm**

### 4.1.3 CALCESTRUZZO PER BAGGIOLI DI APPOGGIO (UNI 11104-2016)

Per i baggioli di appoggio è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C35/45** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C35/45 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **45,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **37,35** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **45,35** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **21,17** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **3,35** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **2,35** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,56** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **38.236,76** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **33.877,87** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XC3-XF1**
- Classe di consistenza: **S6**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,50**
- Contenuto minimo di cemento: **340 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **25 mm**
- Copriferro minimo netto: **40 mm**

### 4.1.4 CALCESTRUZZO PER VELETTE PREFABBRICATE (UNI 11104-2016)

Per le velette laterali prefabbricate è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C32/40 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **40,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **33,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **41,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **18,81** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **3,10** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **2,17** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,45** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **36.049,97** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **32.811,24** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XC4**
- Classe di consistenza: **S6**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,50**
- Contenuto minimo di cemento: **320 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **16 mm**
- Copriferro minimo netto: **30 mm**

### 4.1.5 CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE DELLE SOTTOSTRUTTURE (UNI 11104-2016)

Per le strutture di fondazione delle spalle è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C28/35** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C28/35 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **35,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **29,05** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **37,05** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **16,46** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **2,83** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **1,98** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,32** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **33.721,65** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **31.670,36** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XC2**
- Classe di consistenza: **S4**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,60**
- Contenuto minimo di cemento: **300 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **30 mm**
- Copriferro minimo netto: **45 mm**

### 4.1.6 CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI ELEVAZIONE DELLE SOTTOSTRUTTURE (UNI 11104-2016)

Per le strutture di elevazione delle spalle è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C32/40 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **40,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **33,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **41,20** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **18,81** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **3,10** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **2,17** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,45** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **36.049,97** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **32.811,24** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XF2**
- Classe di consistenza: **S6**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,50**
- Contenuto minimo di cemento: **340 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **20 mm**
- Contenuto minimo di aria: **3,00%**
- Copriferro netto minimo: **45 mm**

### 4.1.7 CALCESTRUZZO PER PALI DI FONDAZIONE (UNI 11104-2016)

Per i pali di fondazione delle spalle è stato previsto un calcestruzzo con classe di resistenza **C25/30** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | C25/30 | | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | $R_{ck}$ | **30,00** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | $f_{ck}$ | **24,90** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg | $f_{cm}$ | **32,90** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd}$ | **14,11** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza media a trazione | $f_{ctm}$ | **2,56** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione | $f_{ctk}$ | **1,79** | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd}$ | **1,19** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico istantaneo | $E_c$ | **31.220,19** | [N/mm$^2$] |
| Modulo elastico medio | $E_{cm}$ | **30.440,77** | [N/mm$^2$] |

- Classe di esposizione: **XC2**
- Classe di consistenza: **S4**
- Rapporto massimo acqua / cemento: **0,60**
- Contenuto minimo di cemento: **300 kg/mc**
- Diametro massimo degli inerti: **30 mm**
- Copriferro minimo netto: **75 mm**

## 4.2 ACCIAI

### 4.2.1 ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

Per le armature lente è stato previsto un acciaio del tipo **B450C,** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{t,k}$ = 540,00 N/mm$^2$ (resistenza caratteristica a rottura)
- $f_{y,k}$ = 450,00 N/mm$^2$ (tensione caratteristica di snervamento)
- $f_{y,d}$ = 391,30 N/mm$^2$ (resistenza di calcolo – $\gamma_s$=1,15)
- $E_s$ = 210.000,00 N/mm$^2$ (modulo elastico istantaneo)

### 4.2.2 ACCIAIO PER ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA

Per gli elementi in carpenteria metallica sono state previste le seguenti tipologie di acciaio in relazione allo spessore delle lamiere di assemblaggio:

- t < 20 mm → **Acciaio S355J0W**
- 20 mm ≤ t ≤ 40 mm → **Acciaio S355J2W**
- t > 40 mm → **Acciaio S355K2W**

Tutte le tipologie di acciaio indicate presentano le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{t,k}$ = 510,00 N/mm$^2$ (resistenza caratteristica a rottura)
- $f_{y,k}$ = 355,00 N/mm$^2$ (tensione caratteristica di snervamento)
- $f_{y,d}$ = 338,09 N/mm$^2$ (resistenza di calcolo – $\gamma_s$=1,05)
- $E_s$ = 210.000,00 N/mm$^2$ (modulo elastico istantaneo)

### 4.2.3 PIOLATURE TIPO NELSON

Per le piolature tipo Nelson è stato previsto un acciaio del tipo **S235J2 + C450**, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{t,k}$ = 360,00 N/mm$^2$ (resistenza caratteristica a rottura)

- $f_{y,k}$ = 235,00 N/mm$^2$ (tensione caratteristica di snervamento)
- $f_{y,d}$ = 223,80 N/mm$^2$ (resistenza di calcolo – $\gamma_s$=1,05)
- $E_s$ = 210.000,00 N/mm$^2$ (modulo elastico istantaneo)

### 4.2.4 BULLONATURE E DADI

Le bullonerie sono state previste in acciaio zincato a caldo con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- **Classe 10.9 UNI EN ISO 898-1:2001**
- $f_{t,b}$ = 1.000,00 N/mm$^2$ (tensione caratteristica di rottura)
- $f_{y,d}$ = 900,00 N/mm$^2$ (tensione caratteristica di snervamento)

I dadi sono previsti di **Classe 10 UNI EN ISO 898-1:2001**.

### 4.2.5 CLASSE DI ESECUZIONE

La classe di esecuzione della carpenteria metallica è EXC3. La classe di tolleranza geometrica è pari a "1".

# 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

## 5.1 DEFINIZIONE DELLA STRATIGRAFIA E DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

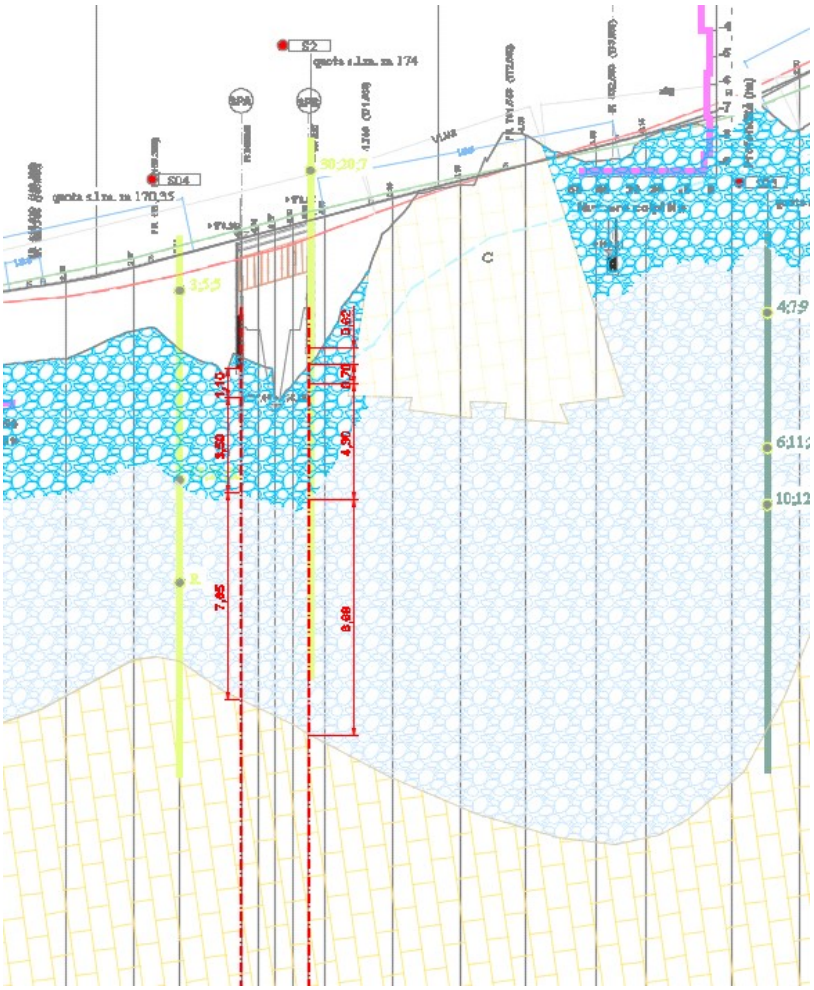
Ai sensi della relazione geologica e della relazione geotecnica, nonché in conformità con i profili geotecnici allegati al presente progetto esecutivo, i terreni di copertura, sono state distinte le seguenti unità geotecniche:

- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- a2g - Deposito di frana quiescente complessa
- a3 - Deposito di versante s.l.
- Strato di alterazione del substrato in posto (Formazione APA)
- Strato di alterazione del substrato in posto (Formazione VLU2)
- Strato di alterazione del substrato in posto (Formazione VLU3)
- CMZ - Sintema di Costamezzana

Il substrato è stato invece distinto nelle seguenti unità litotecniche, corrispondenti alle unità geologiche cartografate.

- CPP – Complesso di Pietra Parcellara (da Argille a Palombini)
- VLU2 - Formazione della Val Luretta - membro di Monteventano
- VLU3 - Formazione della Val Luretta - membro di Genepreto

Di seguito si riporta lo stralcio del profilo geotecnico dal quale è possibile definire il terreno di fondazione corrispondente.



La stratificazione e la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione (desunta dalla Relazione Geotecnica) è riportata nella seguente tabella (le quote sono riferite al piano di imposta della fondazione):

| SPALLA "A" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| STRATO | UNITA' LITOTECNICA | QUOTA INIZIALE [m] | QUOTA FINALE [m] | $H_{strato}$ [m] | $\gamma_{NAT}$ [kN/m$^3$] | $\gamma_{SAT}$ [kN/m$^3$] | $\varphi'_{MED}$ [°] | $C'_{MED}$ [kPa] |
| 1 | a2g (superficie) | 0,00 | 4,60 | 4,60 | 18,50 | 19,97 | 18,00 | 0,50 |
| 2 | a2g (base) | 4,60 | 12,25 | 7,65 | 18,50 | 19,97 | 32,00 | 26,00 |
| 3 | VLU3 (SUBSTRATO) | 12,25 | 30,00 | 17,75 | 19,50 | 20,13 | 28,50 | 30,00 |

| SPALLA "B" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| STRATO | UNITA' LITOTECNICA | QUOTA INIZIALE [m] | QUOTA FINALE [m] | $H_{strato}$ [m] | $\gamma_{NAT}$ [kN/m$^3$] | $\gamma_{SAT}$ [kN/m$^3$] | $\varphi'_{MIN}$ [°] | $\varphi'_{MED}$ [°] |
| 1 | Rilevato | 0,00 | 0,62 | 0,62 | 20,00 | 20,00 | 37,00 | 0,00 |
| 2 | a2g (superficie) | 0,62 | 5,62 | 5,00 | 18,50 | 19,97 | 18,00 | 0,50 |
| 3 | a2g (base) | 5,62 | 14,31 | 8,69 | 18,50 | 19,97 | 31,00 | 27,50 |
| 4 | VLU3 (SUBSTRATO) | 14,31 | 30,00 | 15,69 | 19,50 | 20,13 | 28,50 | 30,00 |

Il terreno spingente è costituito da materiale idoneo per la costruzione del rilevato, caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume: **$\gamma$ = 20,00 kN/m$^3$**
- Angolo di attrito interno: **$\varphi$ = 37,00°**
- Coesione efficace: **c' = 0,00 kN/m$^2$**

La falda di progetto deducibile dal profilo geotecnico sopra riportato, ed è posta come segue:

- Spalla A → **1,10 m** dal piano di posa della fondazione
- Spalla B → **1,32 m** dal piano di posa della fondazione

## 5.2 APPROCCIO DI CALCOLO

Le verifiche geotecniche di carico limite ultimo e di portanza laterale vengono condotte secondo l'approccio 2 previsto dal D.M.17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" - Combinazione A1 - M1 - R3.

**Tab. 6.4.II** – *Coefficienti parziali $\gamma_R$ da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali*

| Resistenza | Simbolo | Pali infissi | Pali trivellati | Pali ad elica continua |
|---|---|---|---|---|
| | $\gamma_R$ | (R3) | (R3) | (R3) |
| Base | $\gamma_b$ | 1,15 | 1,35 | 1,3 |
| Laterale in compressione | $\gamma_s$ | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Totale (*) | $\gamma$ | 1,15 | 1,30 | 1,25 |
| Laterale in trazione | $\gamma_{st}$ | 1,25 | 1,25 | 1,25 |

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

È stata considerata la presenza di un'unica verticale indagata al fine di determinare il valore dei fattori di riduzione delle resistenze caratteristiche $\xi_3$ e $\xi_4$:

| Numero di verticali indagate | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | ≥ 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_3$ | 1,70 | 1,65 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,40 |
| $\xi_4$ | 1,70 | 1,55 | 1,48 | 1,42 | 1,34 | 1,28 | 1,21 |

**Tabella 6.4.IV** – *Fattori di correlazione $\xi$ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.*

# 6 ZONIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

## 6.1 IDENTIFICAZIONE DELLA LOCALITÀ E DEI PARAMETRI SISMICI GENERALI

Il sito è definito dalle seguenti coordinate geografiche:

- Longitudine: **9,585858**
- Latitudine: **44,899425**

In riferimento al D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", le opere sono progettate (in funzione dell'importanza strategica dell'infrastruttura) secondo i seguenti parametri:

- Vita Nominale dell'opera: **50 anni**

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale $V_N$ di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

| | TIPI DI COSTRUZIONI | Valori minimi di $V_N$ (anni) |
|---|---|---|
| 1 | Costruzioni temporanee e provvisorie | 10 |
| 2 | Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | 50 |
| 3 | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | 100 |

- Classe d'uso dell'opera: **IV**

**2.4.2. CLASSI D'USO**

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

- Coefficiente di utilizzo dell'opera: **2,0**

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso $C_U$*

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

- Vita di riferimento dell'opera: **100 anni**

**2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA**

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento $V_R$ che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto $V_N$ per il coefficiente d'uso $C_U$:

$$V_R = V_N \cdot C_U \qquad [2.4.1]$$

Qui di seguito si riporta la sintesi delle scelte progettuali adottati con i tempi di ritorno dell'azione sismica identificati in funzione del singolo stato limite.

## 6.2 PARAMETRI DI CALCOLO

### 6.2.1 PARAMETRI NUMERICI SISMICI

Sono stati definiti e utilizzati nei calcoli 3 differenti spettri di risposta di progetto:

- Spettro di progetto elastico valutato per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per la valutazione delle azioni sismiche dovute alla massa delle sottostrutture e del terreno e dei sovraccarichi direttamente gravanti su di esse.
- Spettro di progetto "smorzato" (per la presenza dell'isolamento sismico alla base dell'impalcato) valutato per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per la valutazione delle azioni sismiche dovute alla massa dell'impalcato e ai sovraccarichi su esso agenti e trasmessi dagli isolatori sismici alle sottostrutture inferiori.
- Spettro di progetto "smorzato" (per la presenza dell'isolamento sismico alla base dell'impalcato) valutato allo Stato Limite di Collasso per il dimensionamento degli isolatori sismici e la verifica dello spostamento di progetto degli stessi.

Nella tabella successiva sono riportati i parametri numerici sismici per i periodi di ritorno associati ai diversi Stati Limite:

| SLATO LIMITE | $T_R$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_o$ [-] | $T_C^*$ [s] |
|---|---|---|---|---|
| SLO | 60 | 0,046 | 2,531 | 0,240 |
| SLD | 101 | 0,057 | 2,549 | 0,259 |
| SLV | 949 | 0,130 | 2,488 | 0,294 |
| SLC | 1950 | 0,164 | 2,493 | 0,299 |

### 6.2.2 CATEGORIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Ai sensi di quanto riportato nella Relazione Geologica e all'interno dei profili allegati al presente progetto il terreno di fondazione è classificato simicamente come di **categoria B** (prova sismica a rifrazione → LS3-LS4-LS5).

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| A | *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

### 6.2.3 CATEGORIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Considerata l'orografia la categoria topografica del sito è stata assunta pari a **categoria $T_1$**.

**Tab. 3.2.III** – *Categorie topografiche*

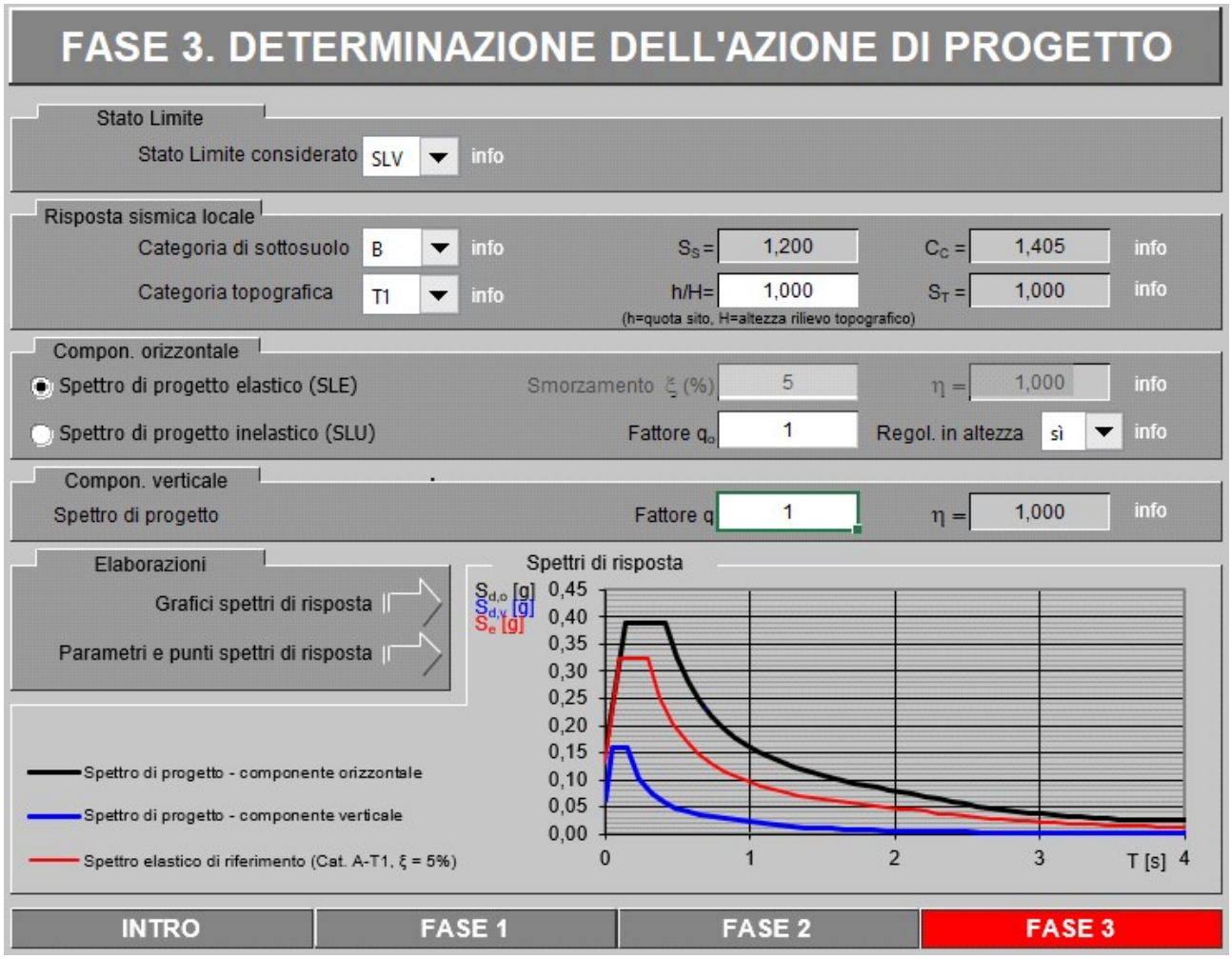
| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15°$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$ |

### 6.2.4 FATTORI DI STRUTTURA

A favore di sicurezza il calcolo e le verifiche sono stati effettuati in campo elastico.
Il fattore di struttura è stato pertanto posto pari a **q = 1,00**.
Lo spettro di progetto adottato sarà pertanto identico allo spettro elastico.

## 6.3 DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI PROGETTO ELASTICO PER LO SLV

Nell'immagine successiva è riportata la determinazione dei parametri dello spettro di risposta elastico valutato per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):



Nella tabella successiva sono riportati analiticamente i parametri sismici ed i valori delle accelerazioni normalizzate in funzione del periodo di vibrazione:

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV |
|---|---|
| $a_g$ | 0,130 g |
| $F_o$ | 2,487 |
| $T_C^*$ | 0,294 s |
| $S_S$ | 1,200 |
| $C_C$ | 1,405 |
| $S_T$ | 1,000 |
| q | 1,000 |

**Parametri dipendenti**

| | |
|---|---|
| S | 1,200 |
| $\eta$ | 1,000 |
| $T_B$ | 0,138 s |
| $T_C$ | 0,414 s |
| $T_D$ | 2,122 s |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0{,}55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4{,}0 \cdot a_g / g + 1{,}6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$

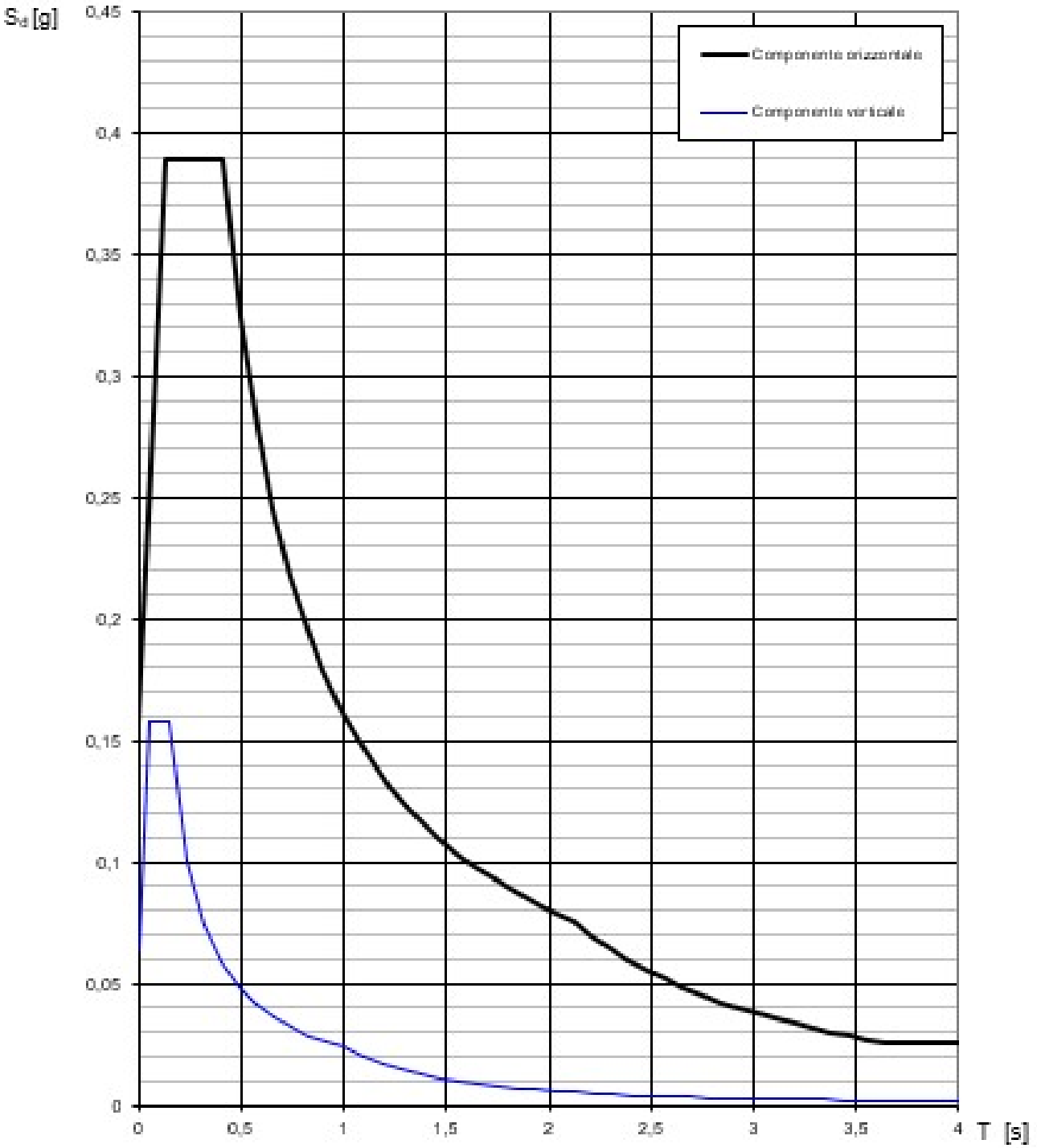
$T_D \leq T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo $\eta$ con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

| | T [s] | Se [g] |
|---|---|---|
| | 0,000 | 0,157 |
| $T_B$ | 0,138 | 0,389 |
| $T_C$ | 0,414 | 0,389 |
| | 0,495 | 0,325 |
| | 0,576 | 0,279 |
| | 0,658 | 0,245 |
| | 0,739 | 0,218 |
| | 0,820 | 0,196 |
| | 0,902 | 0,179 |
| | 0,983 | 0,164 |
| | 1,064 | 0,151 |
| | 1,146 | 0,141 |
| | 1,227 | 0,131 |
| | 1,308 | 0,123 |
| | 1,390 | 0,116 |
| | 1,471 | 0,109 |
| | 1,552 | 0,104 |
| | 1,634 | 0,099 |
| | 1,715 | 0,094 |
| | 1,796 | 0,090 |
| | 1,878 | 0,086 |
| | 1,959 | 0,082 |
| | 2,040 | 0,079 |
| $T_D$ | 2,122 | 0,076 |
| | 2,211 | 0,070 |
| | 2,301 | 0,065 |
| | 2,390 | 0,060 |
| | 2,480 | 0,056 |
| | 2,569 | 0,052 |
| | 2,658 | 0,048 |
| | 2,748 | 0,045 |
| | 2,837 | 0,042 |
| | 2,927 | 0,040 |
| | 3,016 | 0,038 |
| | 3,106 | 0,035 |
| | 3,195 | 0,033 |
| | 3,284 | 0,032 |
| | 3,374 | 0,030 |
| | 3,463 | 0,028 |
| | 3,553 | 0,027 |
| | 3,642 | 0,026 |
| | 3,732 | 0,026 |
| | 3,821 | 0,026 |
| | 3,911 | 0,026 |
| | 4,000 | 0,026 |

Nell'immagine successiva è riportato il diagramma dello spettro di risposta per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

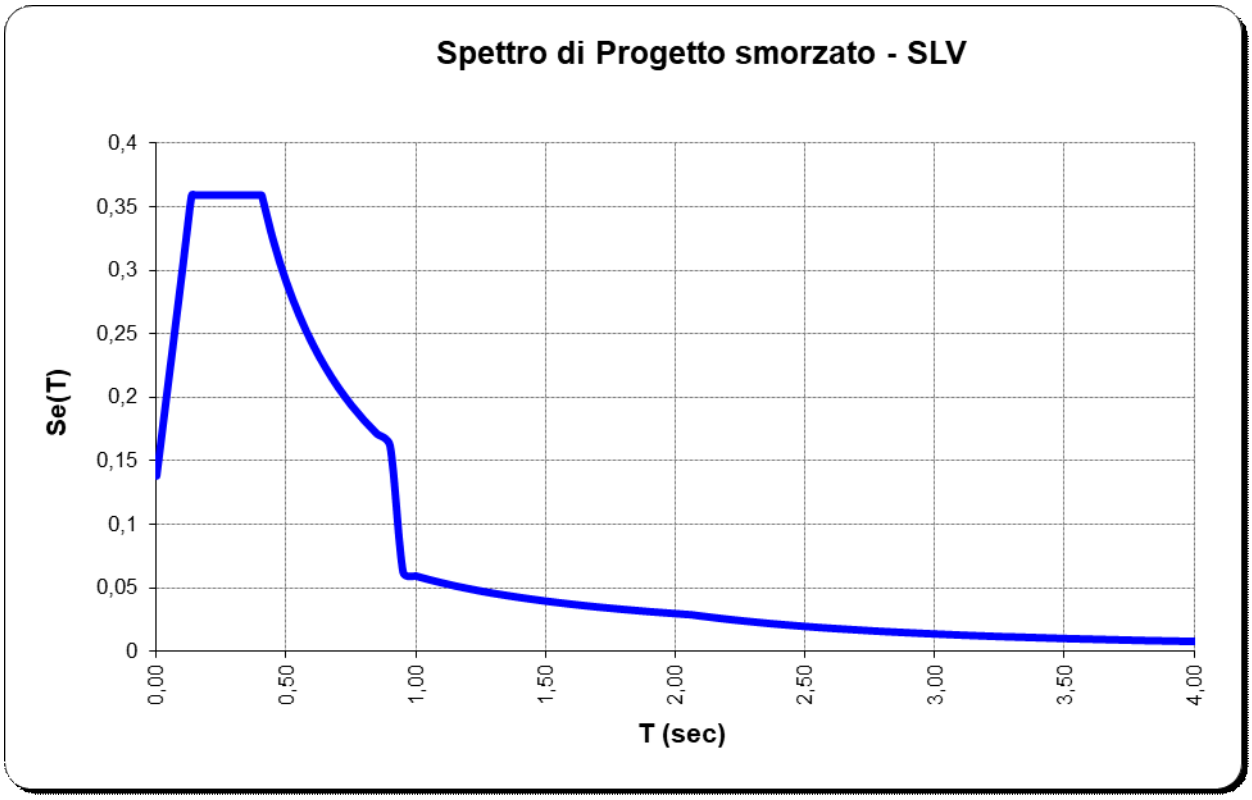


## 6.4 DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI PROGETTO SMORZATO PER LO SLV

Nell'immagine successiva è riportata la determinazione dei parametri dello spettro di risposta smorzato valutato per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

| PARAMETRI SISMICI | | |
|---|---|---|
| $a_g$ | 0,130 | |
| $F_0$ | 2,487 | |
| $T_C$* | 0,294 | sec |
| $S_S$ | 1,200 | |
| $C_C$ | 1,405 | |
| $S_T$ | 1,000 | |
| S | 1,200 | |
| $T_B$ | 0,138 | sec |
| $T_C$ | 0,414 | sec |
| $T_D$ | 2,122 | sec |
| $T_{iso}$ | **1,732** | sec |
| ξ | **0,160** | |

Nell'immagine successiva è riportato il diagramma dello spettro di risposta smorzato per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

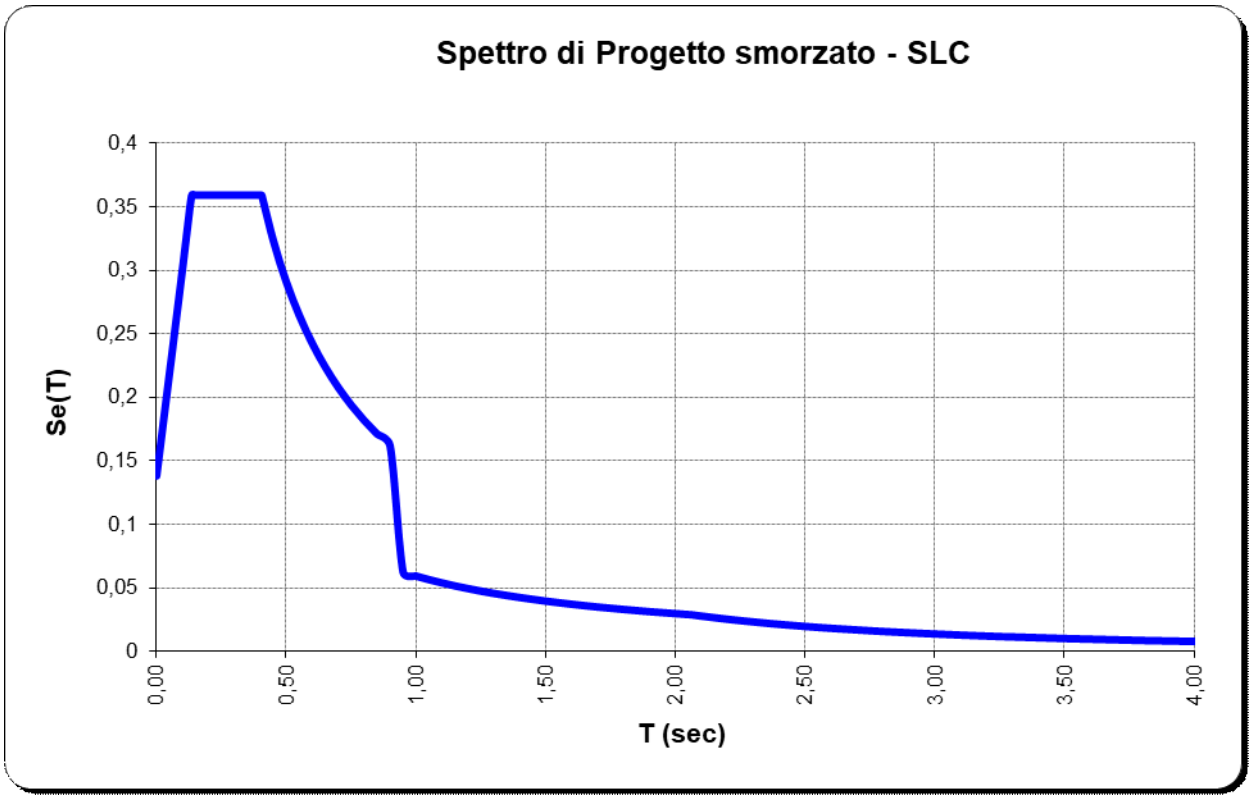


## 6.5 DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI PROGETTO SMORZATO PER LO SLC

Nell'immagine successiva è riportata la determinazione dei parametri dello spettro di risposta smorzato valutato per lo Stato Limite di Collasso (SLC):

| PARAMETRI SISMICI | | |
|---|---|---|
| $a_g$ | 0,165 | |
| $F_0$ | 2,492 | |
| $T_C^*$ | 0,299 | sec |
| $S_S$ | 1,200 | |
| $C_C$ | 1,400 | |
| $S_T$ | 1,000 | |
| S | 1,200 | |
| $T_B$ | 0,140 | sec |
| $T_C$ | 0,419 | sec |
| $T_D$ | 2,258 | sec |
| $T_{iso}$ | **1,732** | sec |
| ξ | **0,160** | |

Nell'immagine successiva è riportato il diagramma dello spettro di risposta smorzato per lo Stato Limite di Collasso:



# 7 CLASSIFICAZIONE DEI PROFILI METALLICI

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali, secondo il D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" – par. 4.2.3.1, si classificano in funzione della loro capacità rotazionale $C_\theta$ definita come:

$$C_\vartheta = \vartheta_r / \vartheta_y - 1$$

essendo $\vartheta_r$ e $\vartheta_y$ le curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima ed allo snervamento, Si distinguono le seguenti classi di sezioni:

- *Classe1*: quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico di cui al § 4.2.3.2 senza subire riduzioni della resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_\vartheta < 3$;
- *Classe2*: la sezione può sviluppare il proprio momento resistente elastico, ma ha una capacità rotazionale limitata. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_\vartheta \geq 1{,}5$;
- *Classe3*: sono quelle sezioni trasversali dove la fibra d'acciaio estrema compressa può raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità locale può impedire il raggiungimento del momento resistente plastico;
- *Classe4*: quando, per determinarne la resistenza flettente, tagliante o normale, è necessario tener conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che compongono la sezione. In tal caso nel calcolo della resistenza la sezione geometrica effettiva può sostituirsi con una sezione efficace.

La definizione delle classi viene fornita dalla norma tecnica e nel caso di una sezione composta, la classificazione è in funzione della classe più sfavorevole relativa alle varie parti che la compongono (piattabanda superiore, inferiore e pannello d'anima). Questa classificazione delle sezioni trasversali dipende dalla proporzione di ciascuno dei suoi elementi compressi quindi dai rapporti geometrici tra la larghezza e lo spessore per tutti gli elementi costituenti i conci di acciaio dell'impalcato si ricava il coefficiente adimensionale che consentirà di stabilire la classe di appartenenza dei vari elementi.

I rapporti di snellezza delle varie lamiere che compongono la sezione trasversale vengono confrontati con i valori limite suggeriti nelle tabelle tab. 4.2.III, tab. 4.2.IV e tab. 4.2. V.

## 7.1 TRAVI PRINCIPALI

A favore di sicurezza la classificazione dei profili è stata eseguita tenendo conto delle reali caratteristiche geometriche delle sezioni. La valutazione delle eventuali aree efficaci dei singoli elementi di classe 4 è riportata nei singoli paragrafi di verifica.

### 7.1.1 CONCIO 01A (T)

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm$^2$ |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm$^2$ |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm$^2$ |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm$^2$ |

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 1.250,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 600,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 1.190,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 22,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 800,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 40,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

| DEFINIZIONE DELLE CLASSI | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 14,45 |
| Classe dell'ala superiore: | 4 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 54,09 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 9,73 |
| Classe dell'ala inferiore: | 3 |
| **CLASSE DEL PROFILO METALLICO** | **4** |

## 7.1.2 CONCIO 01A (G)

**CARATTERISTICHE DEL MATERIALE**

| | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm$^2$ |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm$^2$ |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm$^2$ |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm$^2$ |

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO**

| | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 1.250,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 600,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 1.190,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 22,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 800,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 40,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

**DEFINIZIONE DELLE CLASSI**

| | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 14,45 |
| Classe dell'ala superiore: | 4 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 54,09 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 9,73 |
| Classe dell'ala inferiore: | 3 |

**CLASSE DEL PROFILO METALLICO** 4

### 7.1.3 CONCIO 02A

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm² |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm² |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm² |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm² |

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 1.250,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 600,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 1.180,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 22,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 750,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 800,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 30,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

| DEFINIZIONE DELLE CLASSI | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 14,45 |
| Classe dell'ala superiore: | 4 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 53,64 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 7,78 |
| Classe dell'ala inferiore: | 2 |

| | |
|---|---|
| **CLASSE DEL PROFILO METALLICO** | **4** |

### 7.1.4 CONCIO 03A (G)

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm² |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm² |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm² |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm² |

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 1.250,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 600,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 1.190,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 22,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 800,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 40,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

| DEFINIZIONE DELLE CLASSI | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 14,45 |
| Classe dell'ala superiore: | 4 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 54,09 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 9,73 |
| Classe dell'ala inferiore: | 3 |

| | |
|---|---|
| **CLASSE DEL PROFILO METALLICO** | **4** |

## 7.1.5 CONCIO 03A (T)

**CARATTERISTICHE DEL MATERIALE**

| | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm$^2$ |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm$^2$ |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm$^2$ |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm$^2$ |

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO**

| | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 1.250,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 600,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 1.190,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 22,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 800,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 40,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

**DEFINIZIONE DELLE CLASSI**

| | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 14,45 |
| Classe dell'ala superiore: | 4 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 54,09 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 9,73 |
| Classe dell'ala inferiore: | 3 |

**CLASSE DEL PROFILO METALLICO** 4

## 7.2 TRASVERSI FLESSIONALI

### 7.2.1 TRASVERSI DI TESTATA

**CARATTERISTICHE DEL MATERIALE**

| | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm$^2$ |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm$^2$ |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm$^2$ |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm$^2$ |

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO**

| | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 800,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 300,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 760,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 20,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 300,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

**DEFINIZIONE DELLE CLASSI**

| | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 7,00 |
| Classe dell'ala superiore: | 1 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 38,00 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 7,00 |
| Classe dell'ala inferiore: | 1 |

**CLASSE DEL PROFILO METALLICO** 1

### 7.2.2 TRASVERSI CORRENTE

**CARATTERISTICHE DEL MATERIALE**

| | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | $N/mm^2$ |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | $N/mm^2$ |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | $N/mm^2$ |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | $N/mm^2$ |

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO**

| | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 600,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 200,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 18,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 564,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 16,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 200,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 18,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

**DEFINIZIONE DELLE CLASSI**

| | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 5,11 |
| Classe dell'ala superiore: | 1 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 35,25 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 5,11 |
| Classe dell'ala inferiore: | 1 |

**CLASSE DEL PROFILO METALLICO** 1

# 8 DEFINIZIONE DELLE LARGHEZZE COLLABORANTI

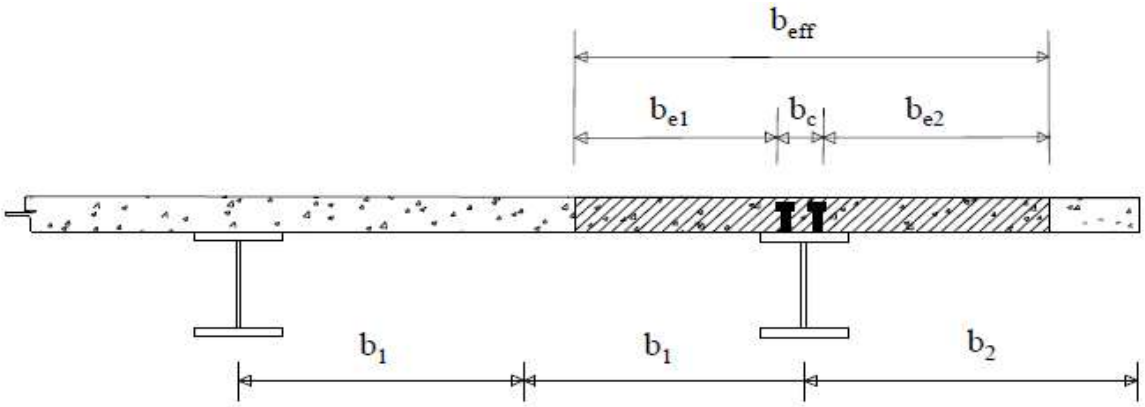
Per la valutazione della larghezza collaborante delle travi metalliche principali si è fatto riferimento a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 4.3.2.3.

## 8.1 CAMPATA DA SPALLA "A" A SPALLA "B"

### 8.1.1 TRAVI DI BORDO T1

**CALCOLO DELLA LARGHEZZA DI SOLETTA COLLABORANTE - TRAVE APPOGGIATA (D.M. 17 GENNAIO 2018 - 4.3.2.3)**

| | | |
|---|---|---|
| Lunghezza della trave $L_e$: | **26,97** | **m** |

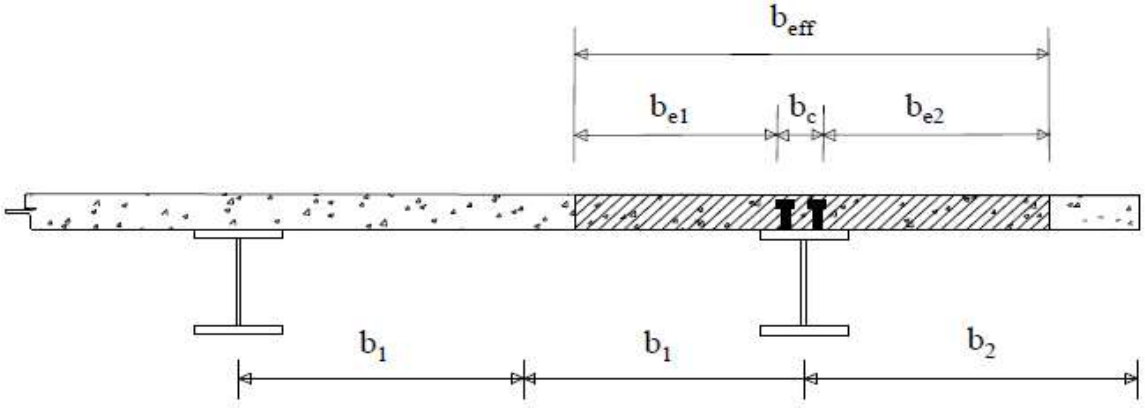



| | | |
|---|---|---|
| Distanza tra i connettori $b_o$: | **0,40** | **m** |
| Larghezza $b_1$: | **1,75** | **m** |
| Larghezza $b_2$: | **3,21** | **m** |
| Larghezza $b_{e1}$: | **1,55** | **m** |
| Larghezza $b_{e2}$: | **3,01** | **m** |
| Larghezza efficace $b_{eff}$: | **4,96** | **m** |

### 8.1.2 TRAVI INTERNE T2 – T3 – T4

**CALCOLO DELLA LARGHEZZA DI SOLETTA COLLABORANTE - TRAVE APPOGGIATA (D.M. 17 GENNAIO 2018 - 4.3.2.3)**

| | | |
|---|---|---|
| Lunghezza della trave $L_e$: | **26,97** | **m** |

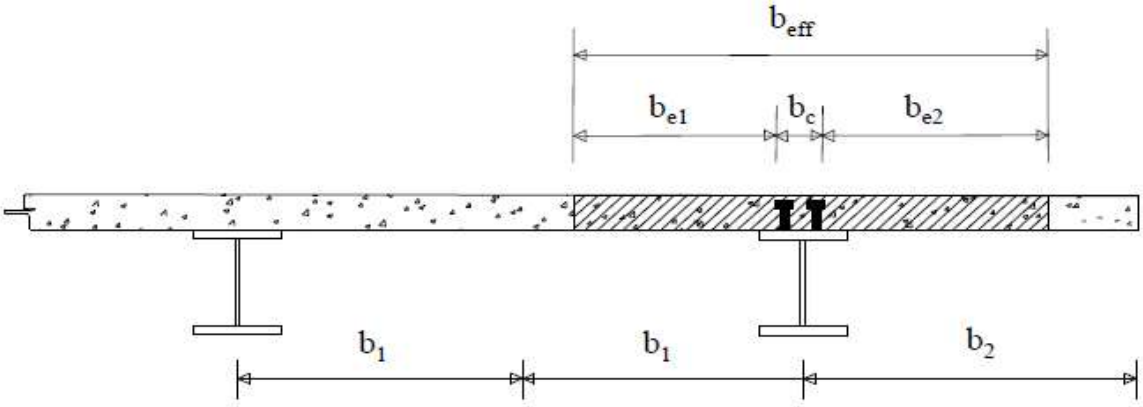



| | | |
|---|---|---|
| Distanza tra i connettori $b_o$: | **0,40** | **m** |
| Larghezza $b_1$: | **1,75** | **m** |
| Larghezza $b_2$: | **1,75** | **m** |
| Larghezza $b_{e1}$: | **1,55** | **m** |
| Larghezza $b_{e2}$: | **1,55** | **m** |
| Larghezza efficace $b_{eff}$: | **3,50** | **m** |

### 8.1.3 TRAVI DI BORDO T5

**CALCOLO DELLA LARGHEZZA DI SOLETTA COLLABORANTE - TRAVE APPOGGIATA (D.M. 17 GENNAIO 2018 - 4.3.2.3)**

Lunghezza della trave $L_e$: **26,97 m**




Distanza tra i connettori $b_o$: **0,40 m**

Larghezza $b_1$: **1,75 m**

Larghezza $b_2$: **3,32 m**

Larghezza $b_{e1}$: **1,55 m**

Larghezza $b_{e2}$: **3,12 m**

Larghezza efficace $b_{eff}$: **5,07 m**

## 8.2 RIEPILOGO DELLE LARGHEZZE COLLABORANTI

A favore di sicurezza verranno considerate, per tipologie di conci omogenee, le larghezze collaboranti minori tra quelle precedentemente calcolate.

| CONCIO | LARGHEZZA COLLABORANTE [m] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | TRAVE T1 | TRAVE T2 | TRAVE T3 | TRAVE T4 | TRAVE T5 |
| C01-A | 4,96 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 5,07 |
| C02-A | 4,96 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 5,07 |
| C03-A | 4,96 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 5,07 |

# 9 ANALISI DEI CARICHI

## 9.1 PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE METALLICHE

Il peso proprio delle strutture metalliche viene attribuito automaticamente dal programma di calcolo e viene opportunamente maggiorato (**15%**) per tener conto di irrigidenti, minuteria, bulloneria e saldature.

Il peso per unità di volume dell'acciaio è assunto pari a **78,50 kN/m$^3$**.

## 9.2 PESO PROPRIO DELLA SOLETTA IN CEMENTO ARMATO

Lo spessore della soletta è assunto pari a **27 cm** (5 cm lastra predalle + 22 cm getto in opera) Assunto il peso per unità di volume del cemento armato pari a **25,0 kN/m$^3$**, il peso per unità di superficie della soletta vale pertanto:

**$p_{soletta}$ = 0,27 x 25,00 = 6,75 kN/m$^2$**

Le larghezze di influenza risultano pari a **4,96 m** per la trave **T1** (trave di bordo)**,** pari a **5,07 m** per la trave **T5** (trave di bordo) e pari a **3,50 m** per le travi **T2, T3** e **T4** (travi interne)**.**

A tali larghezze di influenza corrispondono i seguenti carichi per unità di lunghezza dovuti al peso proprio della soletta:

- Trave T1 (di bordo) → **$p_{soletta}$ = 6,75 x 4,96 = 33,48 kN/m**
- Trave T5 (di bordo) → **$p_{soletta}$ = 6,75 x 5,07 = 34,23 kN/m**
- Travi T2, T3 e T4 (interne) → **$p_{soletta}$ = 6,75 x 3,50 = 23,63 kN/m**

## 9.3 PESO PROPRIO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

Il peso per unità di volume della pavimentazione stradale è assunto pari a **24,00 kN/m$^3$** (al fine di tenere in conto eventuali successive ricariche).

Lo spessore della pavimentazione è variabile da un minimo di **14,0 cm** a un massimo di **21,0 cm**. Lo spessore medio risulta dunque pari a **17,50 cm**. Il peso per unità di superficie dovuto alla pavimentazione stradale risulta pertanto pari:

Il peso per unità di superficie dovuto alla pavimentazione stradale risulta pertanto pari:

- **$p_{pav}$ = 0,175 x 24,00 = 4,20 kN/m$^2$**

## 9.4 PESO PROPRIO DEI CORDOLI LATERALI IN CEMENTO ARMATO

Lo spessore medio dei cordoli laterali risulta pari a **27 cm** per il cordolo sinistro (lato trave T1) e a **14,0 cm** per il cordolo destro (lato trave T5).

Assunto il peso per unità di volume del calcestruzzo armato pari a **25,00 kN/m$^3$**, il peso per unità di superficie del singolo cordolo vale pertanto:

- **$p_{cordolo,T1}$ = 0,27 x 25,00 = 6,75 kN/ m$^2$**
- **$p_{cordolo,T5}$= 0,14 x 25,00 = 3,50 kN/ m$^2$**

## 9.5 PESO PROPRIO DELLE BARRIERE GUARD - RAIL

Il carico per unità di lunghezza dovuto alla barriera guard – rail è assunto pari a **2,00 kN/m**.

## 9.6 PESO PROPRIO DEL PARAPETTO

Il carico per unità di lunghezza dovuto al parapetto è assunto pari a **1,50 kN/m**.

## 9.7 PESO PROPRIO DELLE VELETTE LATERALI PREFABBRICATE IN CEMENTO ARMATO

Lo spessore delle velette laterali risulta pari a **10 cm**, mentre la loro altezza è di **100 cm**.

Assunto il peso per unità di volume del calcestruzzo armato pari a **25,00 kN/m$^3$**, il peso per unità di lunghezza del singolo cordolo vale pertanto:

**$p_{velette}$ = 0,10 x 1,00 x 25,00 = 2,50 kN/m**

## 9.8 AZIONE DEL RITIRO SULLA SOLETTA

L'azione del ritiro è stata valutata sulla larghezza della soletta pari a **20,43 m** con uno spessore (esclusivamente calcestruzzo gettato in opera) pari a **22 cm**:

**VALUTAZIONE DELLE AZIONI DA RITITRO (EC2 A 1.1.3)**

**1. VALUTAZIONE DELLA DEFORMAZIONE FINALE DA RITIRO**

| | | |
|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | C32/40 | |
| Resistenza media compressione (a 28 gg) $f_{cm}$: | 41,2 | N/mm$^2$ |
| Tipologia del calcestruzzo: | Calcestruzzo a indurimento normale o rapido | |
| Coefficiente $\beta_{sc}$ funzione della tipologia del calcestruzzo: | 5 | |
| Coefficiente che tiene conto dell'effetto della resistenza del cls sul ritiro $\varepsilon_s(f_{cm})$: | 0,000404 | |
| Umidità relativa ambientale *RH* (>40 %): | 80 | % |
| Coeff. che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coeff. nominale di ritiro $\beta_{sRH}$: | 0,488 | |
| Caratteristiche della maturazione del cls: | Calcestruzzo esposto all'aria | |
| Coefficiente funzione della tipologia di maturazione del calcestruzzo $\beta_{RH}$: | -0,7564 | |
| Coefficiente nominale di ritiro $\varepsilon_{cso}$: | -0,000306 | |
| Vita utile della struttura: | 100 | anni |
| Area delle sezione di calcestruzzo $A_c$: | 4,49 | m$^2$ |
| Perimetro della sezione di calcestruzzo a contatto con l'atmosfera *u*: | 20,43 | m |
| Dimensione fittizia $h_o$: | 440 | mm |
| Coefficiente atto a descrivere lo sviluppo del ritiro nel tempo $\beta_s(t-t_s)$: | 0,918528 | |
| Deformazione finale dovuta al ritiro $\varepsilon_{cs}(t-t_s)$: | -0,000281 | |

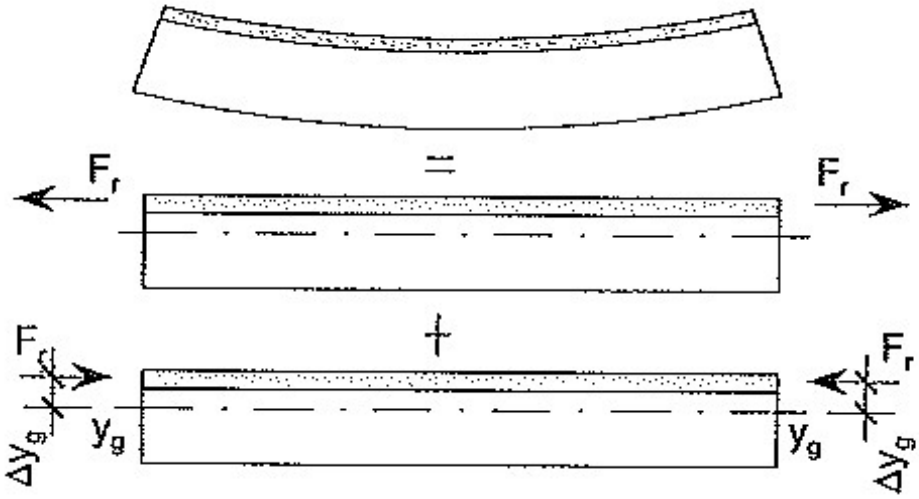
**2. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI OMOGENEIZZAZIONE PER L'AZIONE DI RITIRO**

| | | |
|---|---|---|
| Coeff. che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coeff. nom. di viscosità $\Phi_{RH}$: | 1,263 | |
| Coeff. che tiene conto dell'eff. della resist. del cls sul coeff. nom. di viscosità $\beta(f_{cm})$: | 2,617 | |
| Coeff. che tiene conto dell'età del cls sul coefficiente nominale di viscosità $\beta(t_o)$: | 0,909 | |
| Coefficiente nominale di viscosità $\Phi_o$: | 3,005 | |
| Coefficiente funzione dell'umidità relativa RH e dalla dimensione fittizia $h_o$ $\beta_H$: | 1225,539 | |
| Coefficiente che tiene conto dello sviluppo della viscosità nel tempo $\beta_c(t-t_o)$: | 0,990 | |
| Coefficiente di viscosità $\Phi(t-t_o)$: | 2,976 | |
| Modulo elastico dell'acciaio $E_a$: | 210000,00 | N/mm$^2$ |
| Modulo elastico medio del calcestruzzo $E_{cm}$: | 32811,24 | N/mm$^2$ |
| Coefficiente di omogeneizzazione per gli effetti del ritiro $n_{rit}$: | 16,875 | |

**3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE ASSIALE TOTALE DOVUTA AL RITIRO**

| | | |
|---|---|---|
| Tensione di trazione sul calcestruzzo dovuta al ritiro $\sigma_{rit}$: | -3,493 | N/mm$^2$ |
| Azione totale di trazione agente sul cancestruzzo dovuta al ritiro $N_{rit}$: | -15683,68 | kN |
| Numero di travi che costituiscono l'impalcato: | 5 | |
| Azione di compressione agente sulla singola travata $N_R$: | 3136,74 | kN |

Il ritiro impedito (per la presenza delle travi metalliche che impediscono la deformazione della soletta) è un fenomeno auto - equilibrato. L'azione di trazione sulla soletta è equilibrata da una reazione di compressione (deformazione impedita) applicata sull'intera sezione composta ed agente sul suo baricentro. Tale reazione genera un momento flettente di trasporto sulla sezione.



## 9.9 EFFETTI DELLA VISCOSITÀ E DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI DI OMOGENEIZZAZIONE

Per la valutazione del coefficiente di viscosità a tempo infinito per carichi di lunga durata si considerano:

- **$h_0$ = 2 x (20,43 x 0,22) / 20,43 = 440 mm**
- **$t_0$ = 7 giorni**
- **U.R. = 80%**

Il coefficiente di viscosità a tempo infinito per carichi di lunga durata risulta pertanto pari a:

**Ø(∞,$t_0$) = 2,077**

Come riportato all'interno del paragrafo precedente il coefficiente di viscosità a tempo infinito per l'azione del ritiro risulta pari a:

**Ø(∞,$t_0$) = 2,976**

Il coefficiente di omogeneizzazione per i carichi di lunga durata è valutato mediante la seguente relazione:

$$n_p = \frac{E_{cm}}{E_a} \cdot (1 + 1{,}10 \cdot \phi(t_0, \infty)) \rightarrow n_p = \frac{210.000{,}00}{32.811{,}24} \cdot (1 + 1{,}10 \cdot 2{,}077) = 21{,}023$$

Il coefficiente di omogeneizzazione per l'azione del ritiro è valutato mediante la seguente relazione:

$$n_r = \frac{E_a}{E_{cm}} \cdot \left(1 + 0{,}55 \cdot \phi\left(t_0, \infty\right)\right) \rightarrow n_p = \frac{210.000{,}00}{32.811{,}24} \cdot (1 + 0{,}55 \cdot 2{,}976) = 16{,}876$$

Il coefficiente di omogeneizzazione per azioni di breve durata è valutato mediante la seguente

Il coefficiente di omogeneizzazione per azioni di breve durata è valutato mediante la seguente relazione:

$$n_a = \frac{E_a}{E_{cm}} \rightarrow n_p = \frac{210.000{,}00}{32.811{,}24} = 6{,}40$$

## 9.10 CARICHI ACCIDENTALI

### 9.10.1 CARICHI VIAGGIANTI DA TRAFFICO

Il carico accidentale del traffico viene valutato secondo lo schema n. 1 riportato nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 5.1.3.3.3 e 5.1.3.3.5.

La carreggiata risulta divisa in corsie convenzionale che presentano ciascuna una larghezza pari a **3,00 m**.

La carreggiata presenta una larghezza complessiva pari a **15,43 m**, il numero di corsie convenzionali presenti risulta pertanto:

**$n_{corsie}$ = int(w/3,00) = int(15,43/3,00) = int(5,14) = 5 corsie convenzionali**

Trattandosi di un viadotto di **1ª Categoria** su ciascuna corsia convenzionale verranno applicati i seguenti carichi mobili da traffico:

- 1ª corsia convenzionale

  $Q_{1a}$ = 2 x 300 kN disposti come in figura
  $q_{1a}$ = 9,00 kN/m$^2$ x 3,00 m = 27,00 kN/m
- 2ª corsia convenzionale

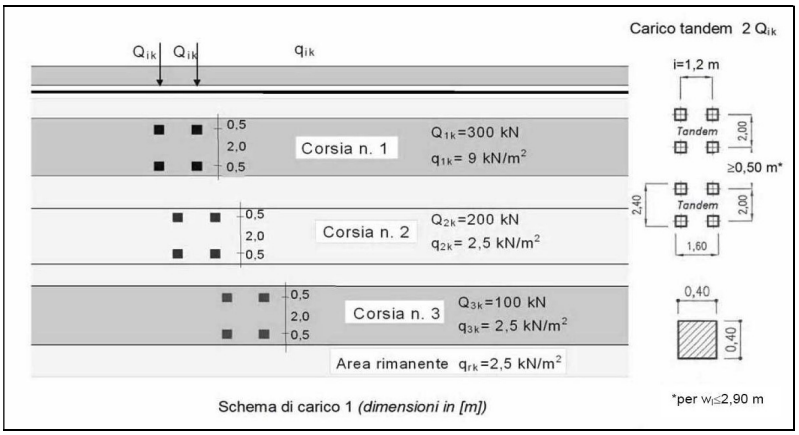
  $Q_{1b}$ = 2 x 200 kN disposti come in figura
  $q_{1b}$ = 2,50 kN/m$^2$ x 3,00 m = 7,50 kN/m
- 3ª corsia convenzionale

  $Q_{1c}$ = 2 x 100 kN disposti come in figura

$q_{1c}$ = 2,50 kN/m$^2$ x 3,00 m = 7,50 kN/m

- Carreggiata rimanente

$q_{1d}$ = 2,50 kN/m$^2$ x 6,43 m = 16,075 kN/m



Schema di carico 1 *(dimensioni in [m])*

### 9.10.2 CARICO DA FOLLA COMPATTA

Il carico accidentale dovuto alla folla compatta viene valutato secondo lo schema n. 5 riportato nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 5.1.3.3.3 e 5.1.3.3.5.

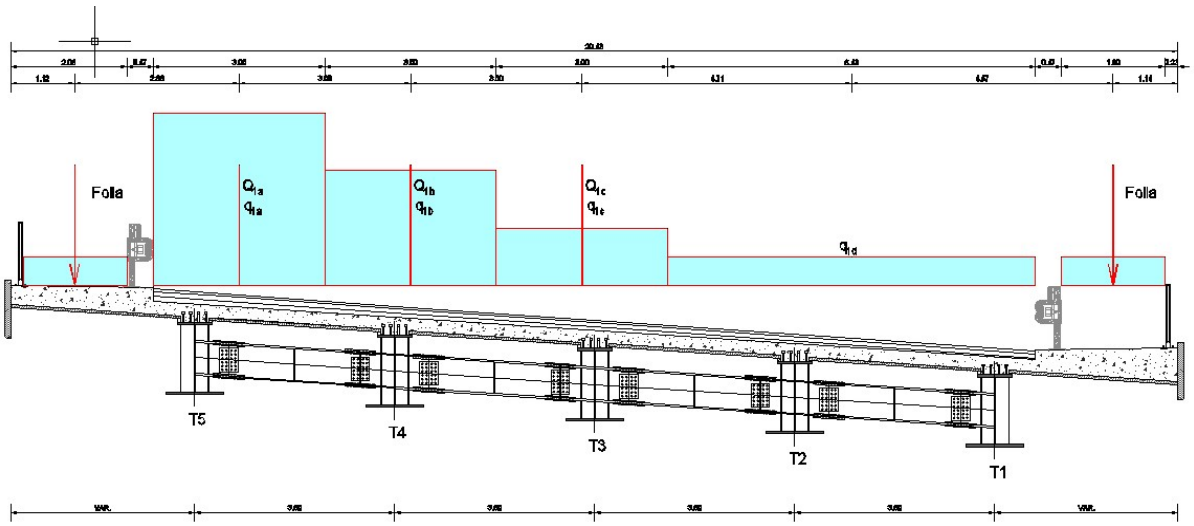
Il carico da folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, è assunto pari a **5,00 kN/m$^2$**.

Il valore di combinazione (carico da traffico preponderante) è invece assunto pari a **2,50 kN/m$^2$**.

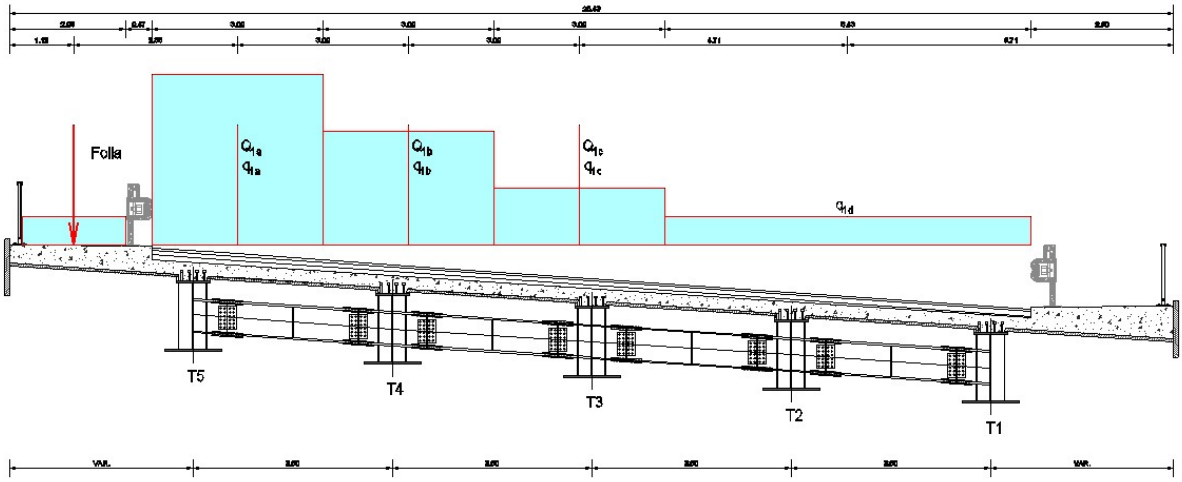
### 9.10.3 DISPOSIZIONE DEI CARICHI ACCIDENTALI VIAGGIANTI

Sono state considerate cinque differenti disposizioni dei carichi viaggianti (traffico veicolare + folla compatta).

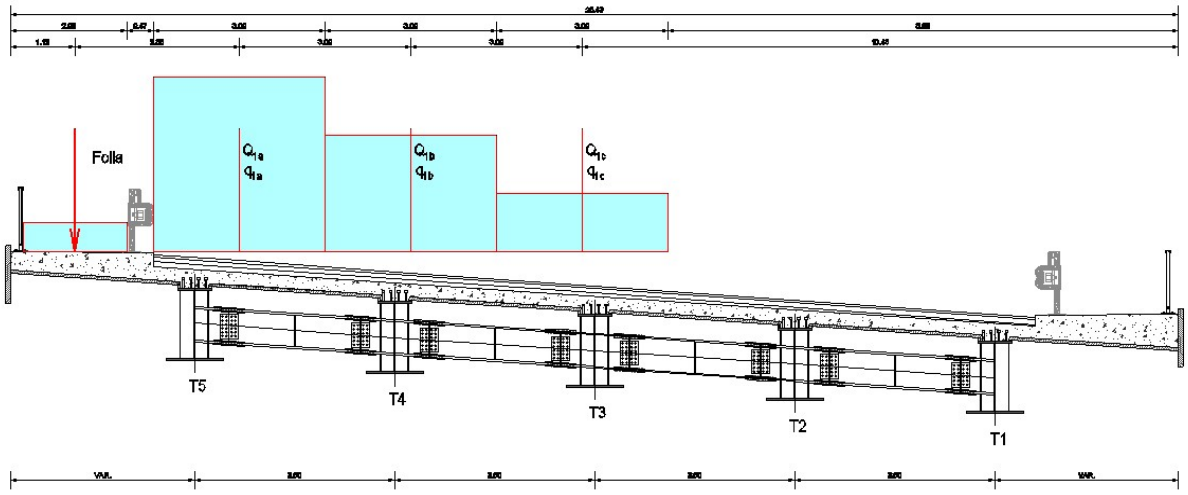
CONDIZIONE 1



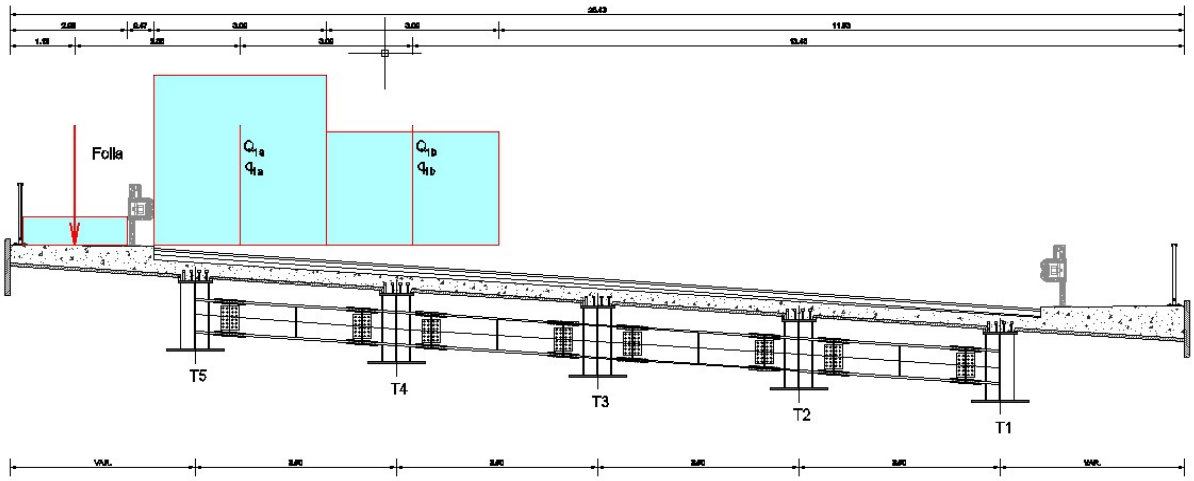
CONDIZIONE 2



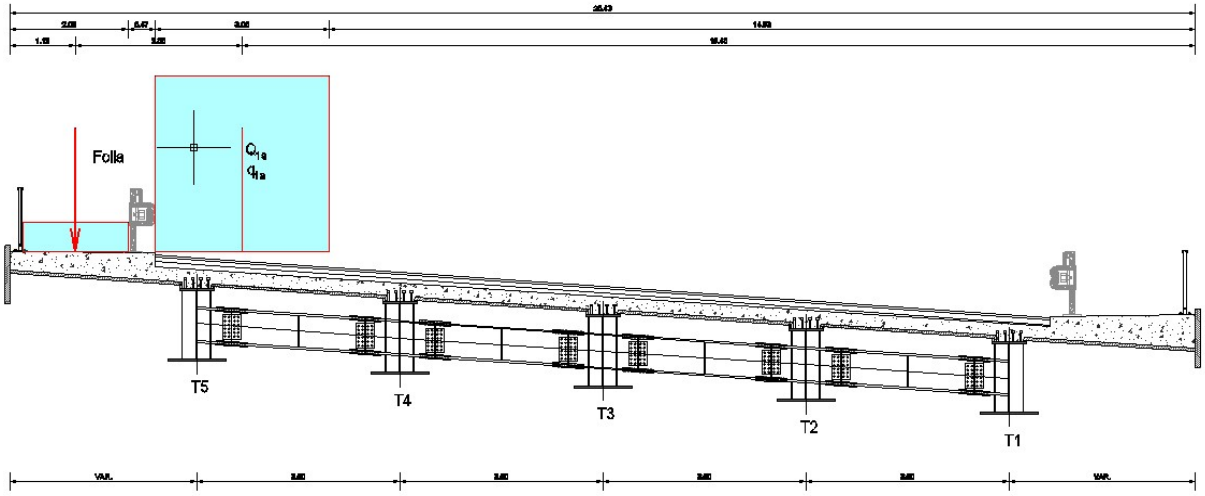

CONDIZIONE 3



## CONDIZIONE 4

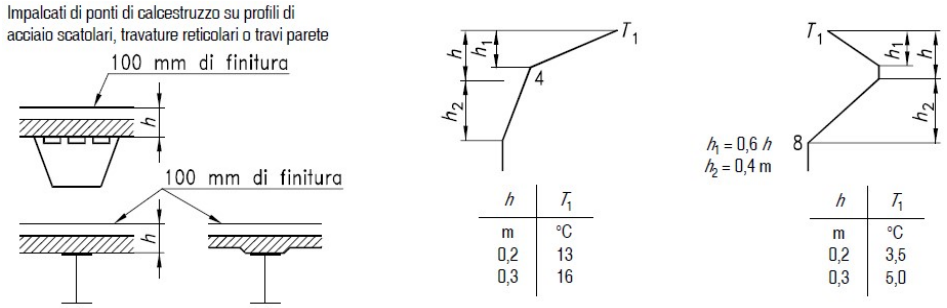



## CONDIZIONE 5



### 9.10.4 AZIONE TERMICA DIFFERENZIALE

L'azione termica differenziale è stata calcolata mediante l'applicazione di un gradiente termico valutato sulla base delle distribuzioni di temperatura previste dall'EC1 Parte 2-5 "Azioni sulle strutture – Azioni termiche", appendici B e C.




| h | $T_1$ |
|---|---|
| m | °C |
| 0,2 | 13 |
| 0,3 | 16 |

| h | $T_1$ |
|---|---|
| m | °C |
| 0,2 | 3,5 |
| 0,3 | 5,0 |

Per la definizione della temperatura $T_1$ si è fatto riferimento al prospetto B.2 della sopra citata normativa:

| Profondità della soletta ($h$) | Spessore della superficie | Differenza positiva di temperatura $T_1$ | Differenza negativa di temperatura $T_1$ |
|---|---|---|---|
| m | mm | °C | °C |
| 0,2 | Senza finitura | [16,5] | [5,9] |
| | Resistente all'acqua | [23,0] | [5,9] |
| | 50 | [18,0] | [4,4] |
| | 100 | [13,0] | [3,5] |
| | 150 | [10,5] | [2,3] |
| | 200 | [8,5] | [1,6] |
| 0,3 | Senza finitura | [18,5] | [9,0] |
| | Resistente all'acqua | [26,5] | [9,0] |
| | 50 | [20,5] | [6,8] |
| | 100 | [16,0] | [5,0] |
| | 150 | [12,5] | [3,7] |
| | 200 | [10,0] | [2,7] |

Nel caso di soletta calda è stata assunta una temperatura $T_1$ pari a **16,0 °C**, mentre per una soletta fredda è stata assunta una temperatura $T_1$ pari a **6,0 °C**.

Per la valutazione del gradiente lineare verticale equivalente da applicare ai calcoli di verifica delle sezioni si è fatto riferimento alla relazione [C.4] riportato dall'EC1 parte 2-5 al paragrafo C.5:

$$DT_{MY} = \frac{n_E n_\alpha \int_{A_1} T(Z,Y) Y dA_1 + \int_{A_2} T(Z,Y) Y dA_2}{n_E J_{Z1} + J_{Z2}}$$

dove:

- $n_E$ è il rapporto tra i moduli elastici dell'acciaio e del calcestruzzo della soletta
- $n_\alpha$ è il rapporto tra i coefficienti di dilatazione termica dell'acciaio e del calcestruzzo
- $J_{z1}$ è il momento di inerzia della soletta in calcestruzzo rispetto al baricentro della sezione omogeneizzata
- $J_{z2}$ è il momento di inerzia della sezione in acciaio rispetto al baricentro della sezione omogeneizzata

Sulla base del gradiente termico equivalente calcolato sono stati determinati, alla stregua di quanto già riportato relativamente agli effetti del ritiro:

- effetti isostatici (azione normale e momento flettente)

## 9.10.4.1 Concio 01A (T)

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

**CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA** — C32/40

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm$^2$] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm$^2$] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm$^2$] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm$^2$] |

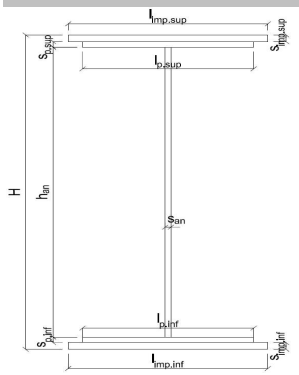
**ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA** — B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] |

**ACCIAIO PER CARPENTERIA** — S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm$^2$] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm$^2$] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA



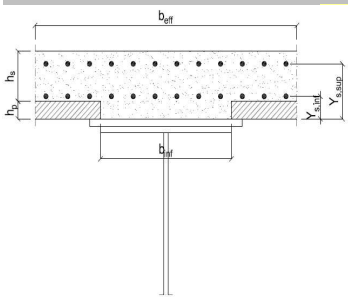

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |

**CARATTERISTICHE INERZIALI**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm$^2$] | $J_t$ | 2,289E+07 | [mm$^4$] |
| S | 3,214E+07 | [mm$^3$] | $W_{sup}$ | 2,196E+07 | [mm$^3$] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{inf}$ | -3,797E+07 | [mm$^3$] |
| J | 1,739E+10 | [mm$^4$] | $A_V$ | 27.500,00 | [mm$^2$] |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO




**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm$^2$] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm$^4$] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |

**ARMATURA LONGITUDINALE**

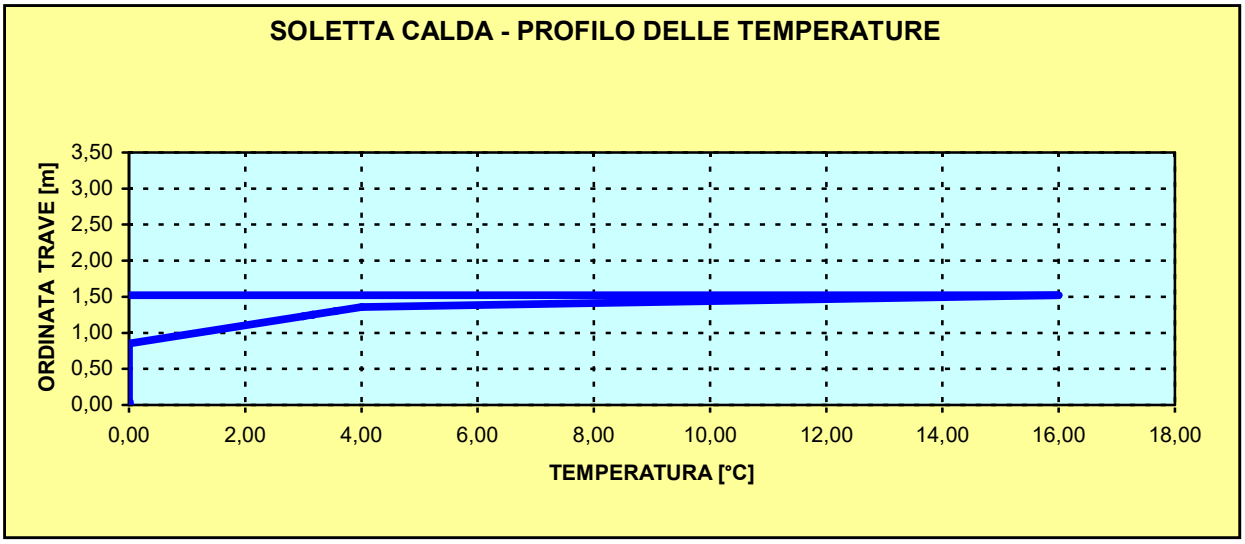
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

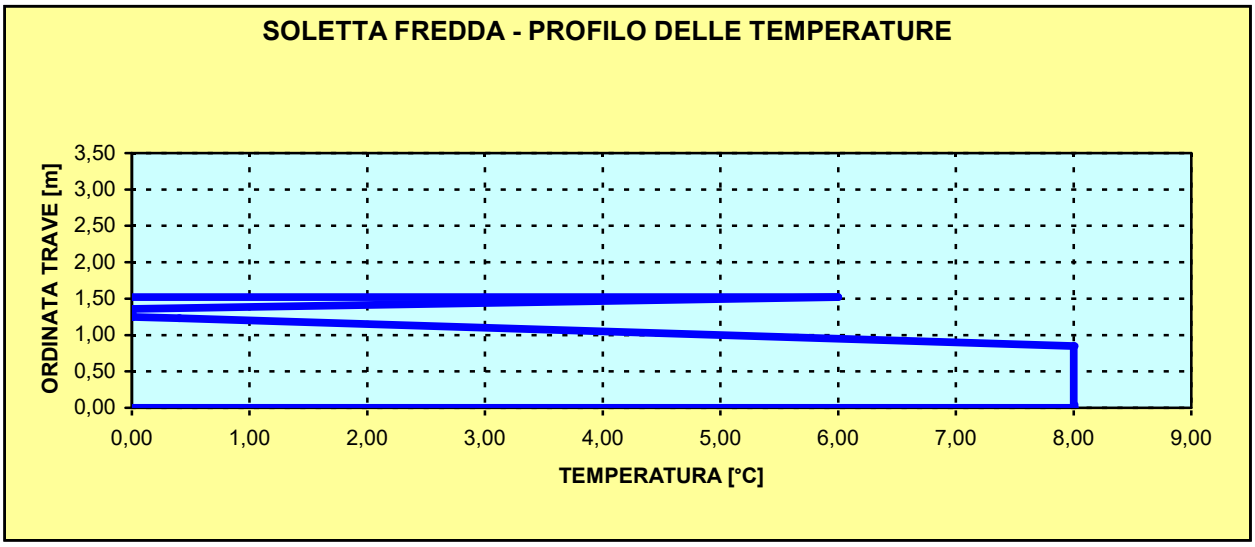
### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| CARATTERISICA GEOMETRICA/INERZIALE | | FASE I (pesi propri) | FASE II-A (permanenti) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (accidentali) |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,976 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,88 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m$^3$] | 3,214E+01 | 4,311E-02 | 4,311E-02 | 4,311E-02 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,553 | 0,553 | 0,553 |
| Area della sezione | A [m$^2$] | 7,018E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m$^4$] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,090E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m$^4$] | 1,739E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m$^3$] | - | 2,451E-02 | 2,451E-02 | 2,451E-02 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m$^3$] | - | 2,643E-02 | 2,643E-02 | 2,643E-02 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m$^3$] | - | 2,937E-02 | 2,937E-02 | 2,937E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso trave | $W_{tr,sup}$ [m$^3$] | 2,196E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 |
| Modulo di resitenza intradosso trave | $W_{tr,inf}$ [m$^3$] | -3,797E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 |

| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT POSITIVO (SOLETTA CALDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 16,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 8,97 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 13,63 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 6.119,52 | [kN] |




| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT NEGATIVO (SOLETTA FREDDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 6,00 | [°C] |
| Temperatura all'intradosso della trave metallica: | | 8,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 0,22 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 0,33 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 72,27 | [kN] |



## 9.10.4.2 Concio 01A (G)

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

**CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA** — C32/40

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm$^2$] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm$^2$] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm$^2$] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm$^2$] |

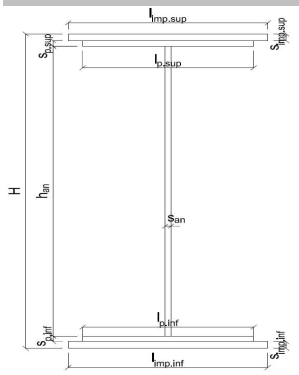
**ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA** — B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] |

**ACCIAIO PER CARPENTERIA** — S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm$^2$] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm$^2$] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA



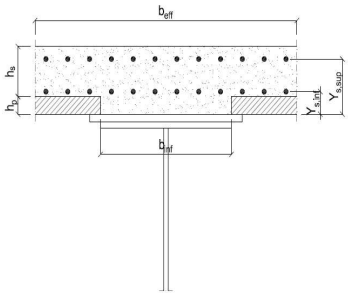

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |

**CARATTERISTICHE INERZIALI**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm$^2$] | $J_t$ | 2,289E+07 | [mm$^4$] |
| S | 3,214E+07 | [mm$^3$] | $W_{sup}$ | 2,196E+07 | [mm$^3$] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{inf}$ | -3,797E+07 | [mm$^3$] |
| J | 1,739E+10 | [mm$^4$] | $A_V$ | 27.500,00 | [mm$^2$] |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO




**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm$^2$] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm$^4$] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |

**ARMATURA LONGITUDINALE**

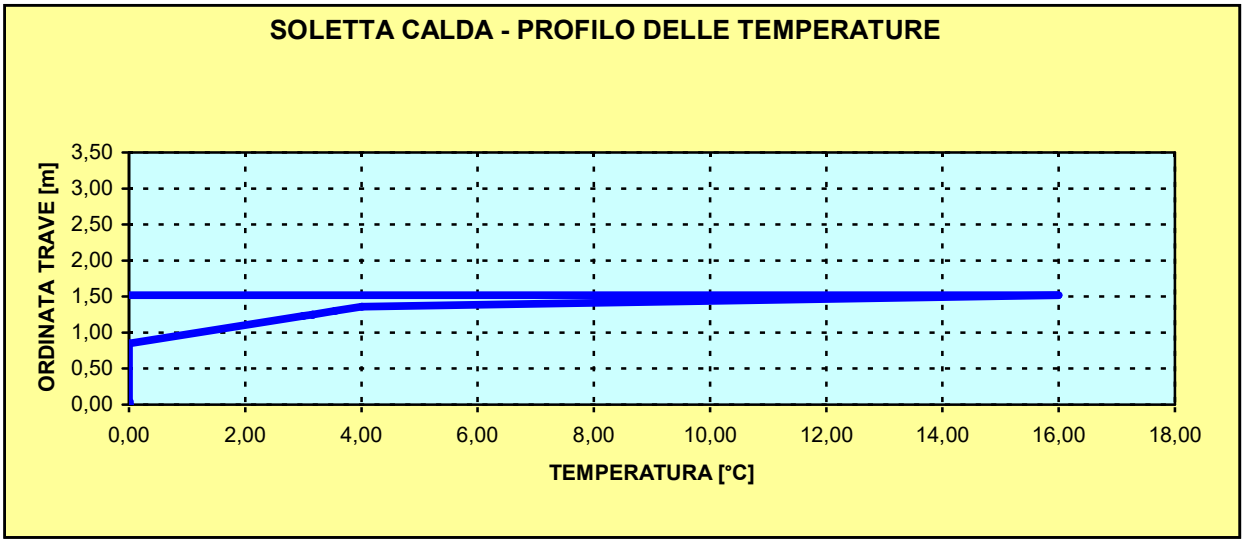
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

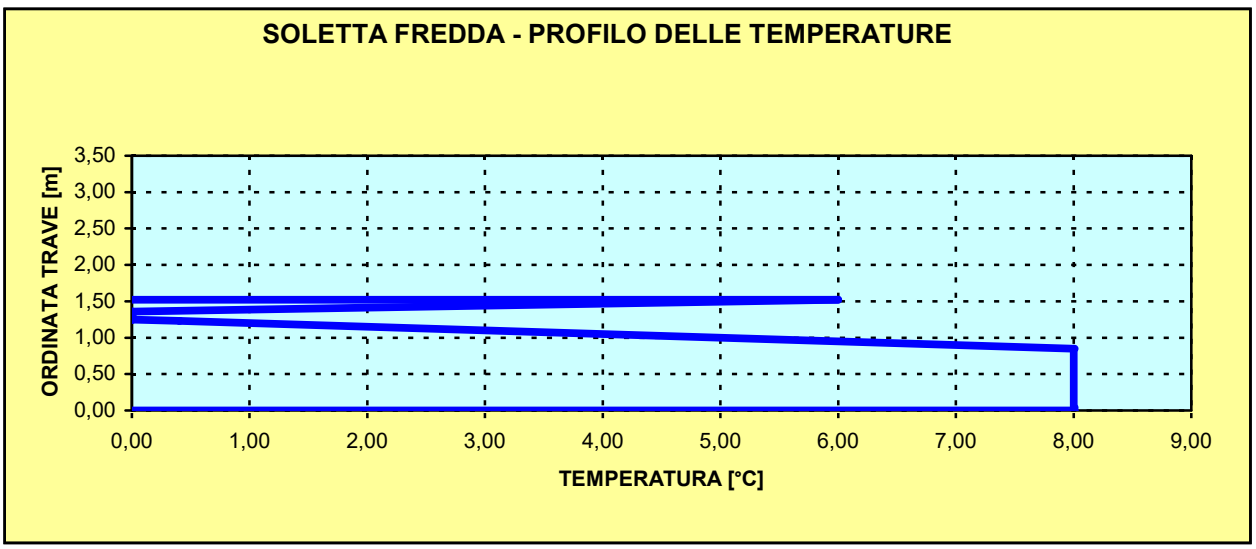
### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| CARATTERISICA GEOMETRICA/INERZIALE | | FASE I (pesi propri) | FASE II-A (permanenti) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (accidentali) |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,976 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,88 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m$^3$] | 3,214E+01 | 4,311E-02 | 4,311E-02 | 4,311E-02 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,553 | 0,553 | 0,553 |
| Area della sezione | A [m$^2$] | 7,018E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m$^4$] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,090E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m$^4$] | 1,739E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m$^3$] | - | 2,451E-02 | 2,451E-02 | 2,451E-02 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m$^3$] | - | 2,643E-02 | 2,643E-02 | 2,643E-02 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m$^3$] | - | 2,937E-02 | 2,937E-02 | 2,937E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso trave | $W_{tr,sup}$ [m$^3$] | 2,196E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 |
| Modulo di resitenza intradosso trave | $W_{tr,inf}$ [m$^3$] | -3,797E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 |

| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT POSITIVO (SOLETTA CALDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 16,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 8,97 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 13,63 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 6.119,52 | [kN] |




| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT NEGATIVO (SOLETTA FREDDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 6,00 | [°C] |
| Temperatura all'intradosso della trave metallica: | | 8,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 0,22 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 0,33 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 72,27 | [kN] |



## 9.10.4.3 Concio 02A

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

**CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA** — C32/40

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] | |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] | |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] | |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] | |

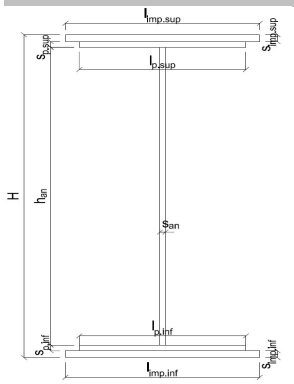
**ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA** — B450C

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] | |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] | |

**ACCIAIO PER CARPENTERIA** — S355

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] | |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] | |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA



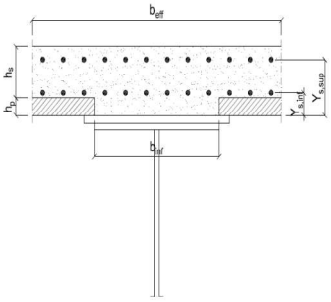

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | | $h_{an}$ | 22,00 | [mm] | |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | | $l_{p,inf}$ | 750,00 | [mm] | |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | | $s_{p,inf}$ | 20,00 | [mm] | |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | | $l_{imp,inf}$ | 800,00 | [mm] | |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | | $s_{imp,inf}$ | 30,00 | [mm] | |
| $h_{an}$ | 1.180,00 | [mm] | | | | | |

**CARATTERISTICHE INERZIALI**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 76.960,00 | [mm²] | | $J_t$ | 1,499E+07 | [mm⁴] | |
| S | 3,245E+07 | [mm³] | | $W_{sup}$ | 2,227E+07 | [mm³] | |
| $Y_G$ | 421,70 | [mm] | | $W_{inf}$ | -4,373E+07 | [mm³] | |
| J | 1,844E+10 | [mm⁴] | | $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO




**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | | $Y_G$ | 156,07 | [mm] | |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | | $A_c$ | 8,588E+05 | [mm²] | |
| $b_{eff}$ | 3.790,00 | [mm] | | J | 3,811E+09 | [mm⁴] | |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | | | |

**ARMATURA LONGITUDINALE**

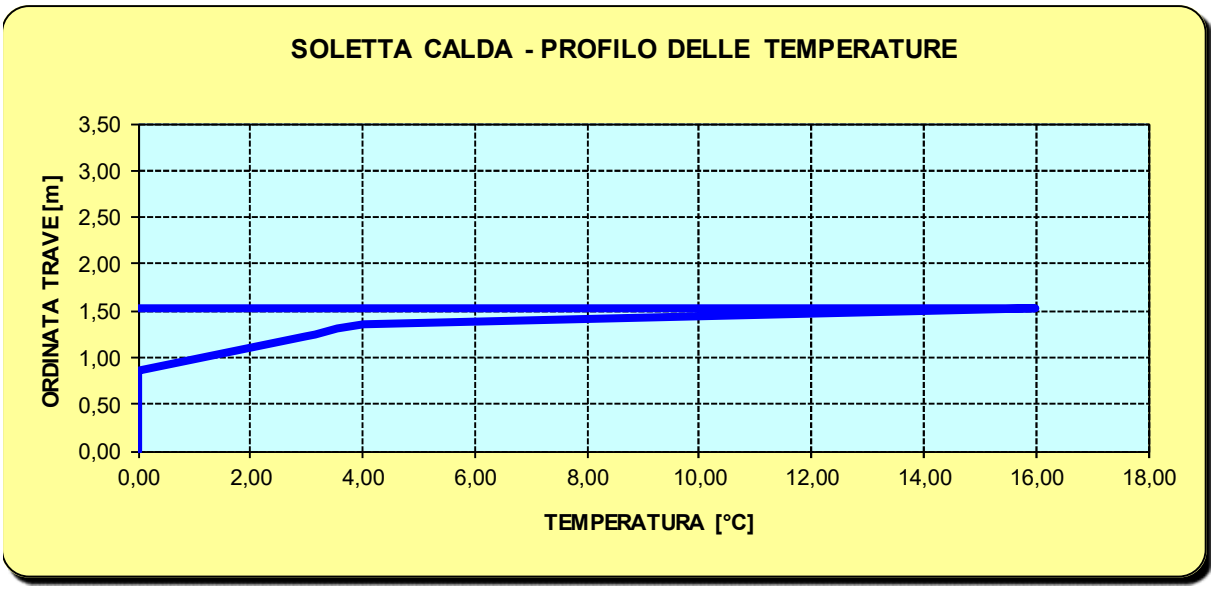
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] | |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] | |
| $A_{s,inf}$ | 2.918,30 | [mm²] | | $A_{s,sup}$ | 2.918,30 | [mm²] | |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | | $Y_{s,sup}$ | 180,00 | [mm] | |

☐ SOLETTA FESSURATA

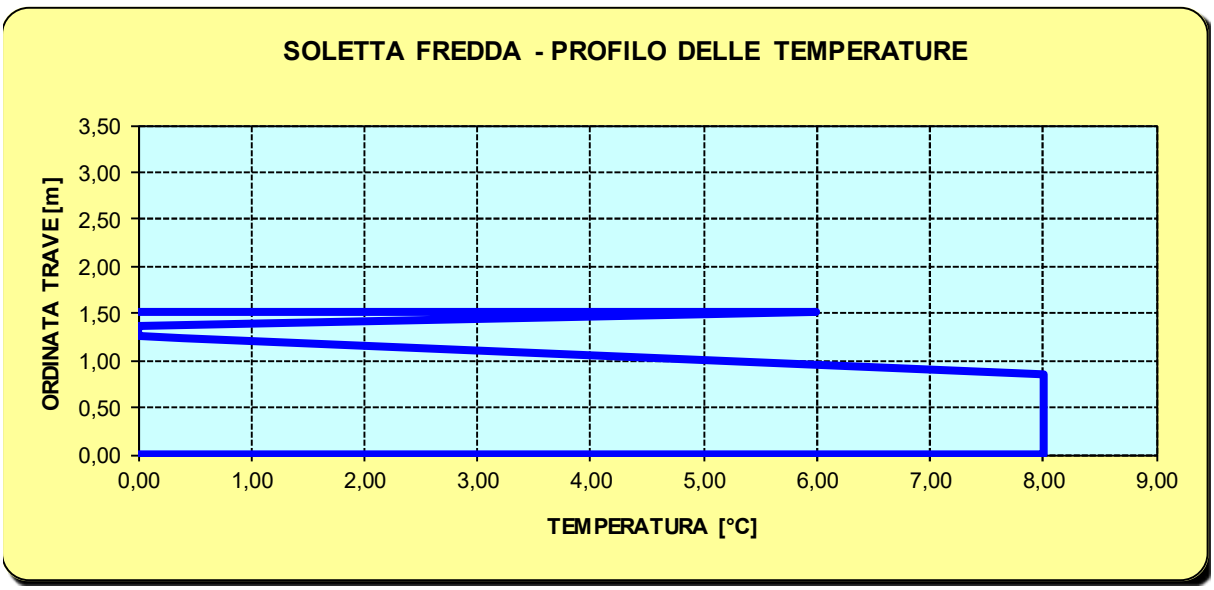
### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| CARATTERISICA GEOMETRICA/INERZIALE | | FASE I (pesi propri) | FASE II-A (permanenti) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (accidentali) |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,245E+01 | 9,804E-02 | 1,122E-01 | 2,293E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,422 | 0,793 | 0,839 | 1,057 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,696E-02 | 1,236E-01 | 1,337E-01 | 2,170E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 1,499E-05 | 6,559E-04 | 8,135E-04 | 2,120E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,844E-02 | 4,671E-02 | 5,053E-02 | 8,222E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 6,424E-02 | 7,420E-02 | 1,774E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 7,331E-02 | 8,550E-02 | 2,202E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 8,236E-02 | 9,698E-02 | 2,710E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso trave | $W_{tr,sup}$ [m³] | 2,227E-02 | 1,022E-01 | 1,229E-01 | 4,252E-01 |
| Modulo di resitenza intradosso trave | $W_{tr,inf}$ [m³] | -4,373E-02 | -5,891E-02 | -6,023E-02 | -7,781E-02 |

| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT POSITIVO (SOLETTA CALDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 16,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 3,79 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 6,44 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 9,79 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 3.309,93 | [kN] |




| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT NEGATIVO (SOLETTA FREDDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 6,00 | [°C] |
| Temperatura all'intradosso della trave metallica: | | 8,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 3,79 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | -0,29 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | -0,44 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | -72,79 | [kN] |



## 9.10.4.4 Concio 03A (G)

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

**CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA** — C32/40

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] | | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm$^2$] | |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] | | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] | |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm$^2$] | | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm$^2$] | |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] | | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm$^2$] | |

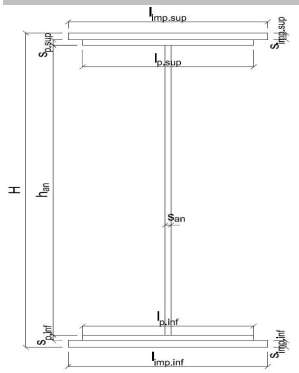
**ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA** — B450C

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] | | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] | |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] | | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] | |

**ACCIAIO PER CARPENTERIA** — S355

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm$^2$] | | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm$^2$] | |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm$^2$] | | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] | |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA



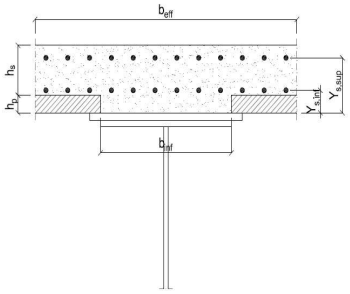

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | | $h_{an}$ | 22,00 | [mm] | |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] | |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] | |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] | |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] | |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | | | |

**CARATTERISTICHE INERZIALI**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm$^2$] | | $J_t$ | 2,289E+07 | [mm$^4$] | |
| S | 3,214E+07 | [mm$^3$] | | $W_{sup}$ | 2,196E+07 | [mm$^3$] | |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | | $W_{inf}$ | -3,797E+07 | [mm$^3$] | |
| J | 1,739E+10 | [mm$^4$] | | $A_V$ | 27.500,00 | [mm$^2$] | |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO




**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | | $Y_G$ | 157,04 | [mm] | |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm$^2$] | |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | | J | 4,950E+09 | [mm$^4$] | |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | | | |

**ARMATURA LONGITUDINALE**

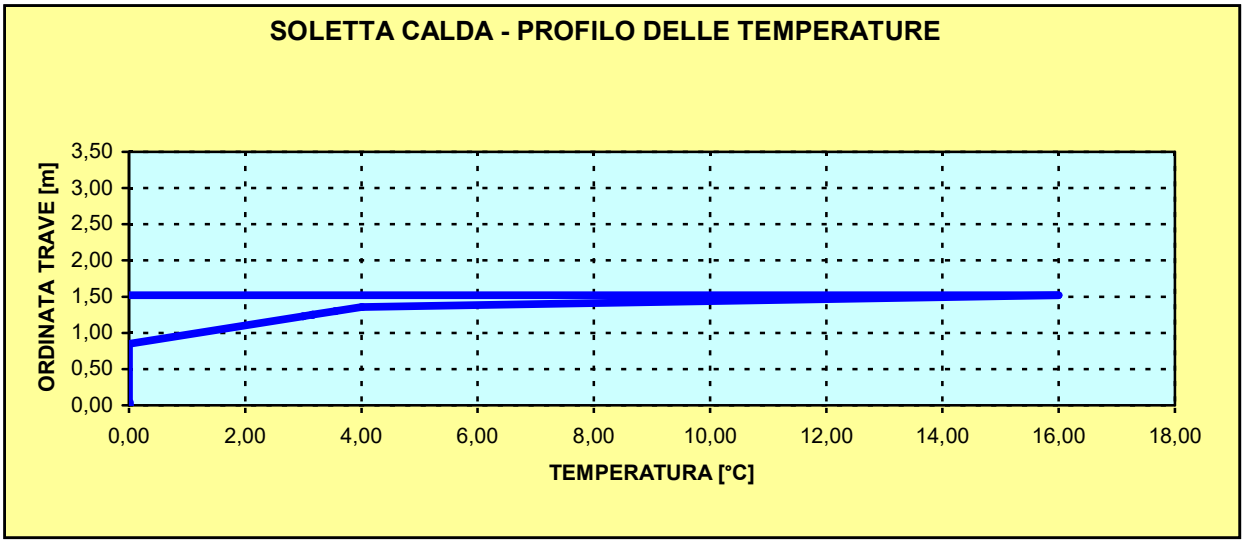
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] | |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] | |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] | | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] | |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] | |

☐ SOLETTA FESSURATA

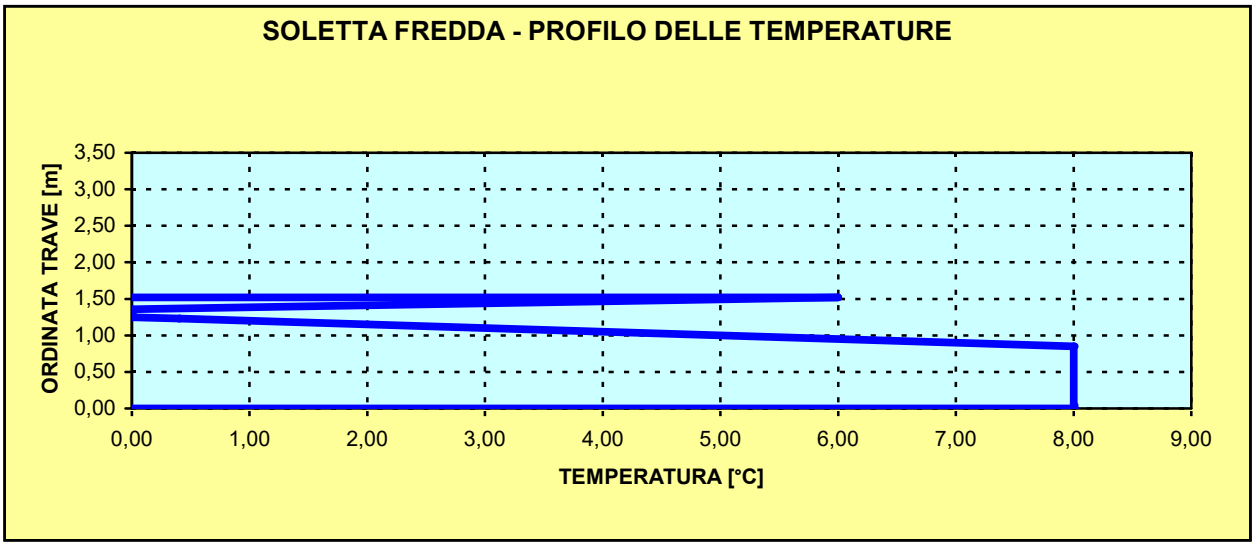
### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| CARATTERISICA GEOMETRICA/INERZIALE | | FASE I (pesi propri) | FASE II-A (permanenti) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (accidentali) |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,976 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,88 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m$^3$] | 3,214E+01 | 4,311E-02 | 4,311E-02 | 4,311E-02 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,553 | 0,553 | 0,553 |
| Area della sezione | A [m$^2$] | 7,018E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m$^4$] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,090E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m$^4$] | 1,739E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m$^3$] | - | 2,451E-02 | 2,451E-02 | 2,451E-02 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m$^3$] | - | 2,643E-02 | 2,643E-02 | 2,643E-02 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m$^3$] | - | 2,937E-02 | 2,937E-02 | 2,937E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso trave | $W_{tr,sup}$ [m$^3$] | 2,196E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 |
| Modulo di resitenza intradosso trave | $W_{tr,inf}$ [m$^3$] | -3,797E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 |

| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT POSITIVO (SOLETTA CALDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 16,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 8,97 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 13,63 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 6.119,52 | [kN] |




| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT NEGATIVO (SOLETTA FREDDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 6,00 | [°C] |
| Temperatura all'intradosso della trave metallica: | | 8,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 0,22 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 0,33 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 72,27 | [kN] |



## 9.10.4.5 Concio 03A (T)

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

**CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA** — C32/40

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm$^2$] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm$^2$] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm$^2$] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm$^2$] |

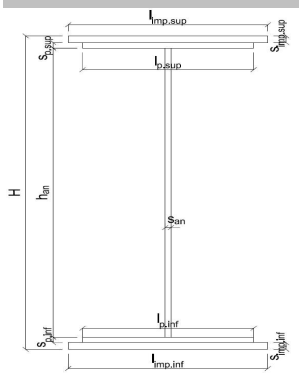
**ACCIAIO PER LE BARRE DI ARMATURA** — B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] |

**ACCIAIO PER CARPENTERIA** — S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm$^2$] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm$^2$] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm$^2$] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm$^2$] |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA



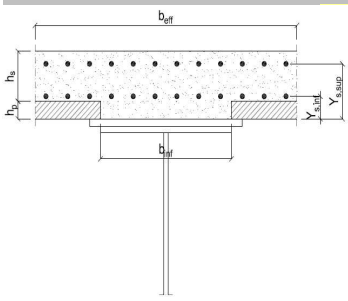

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |

**CARATTERISTICHE INERZIALI**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm$^2$] | $J_t$ | 2,289E+07 | [mm$^4$] |
| S | 3,214E+07 | [mm$^3$] | $W_{sup}$ | 2,196E+07 | [mm$^3$] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{inf}$ | -3,797E+07 | [mm$^3$] |
| J | 1,739E+10 | [mm$^4$] | $A_V$ | 27.500,00 | [mm$^2$] |

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO




**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm$^2$] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm$^4$] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |

**ARMATURA LONGITUDINALE**

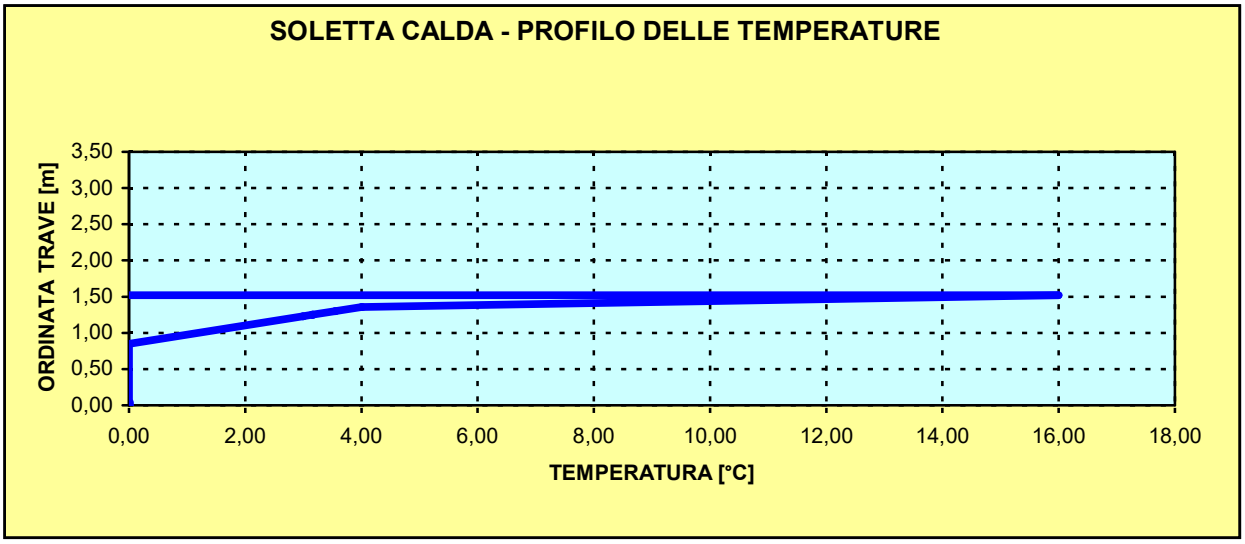
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm$^2$] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

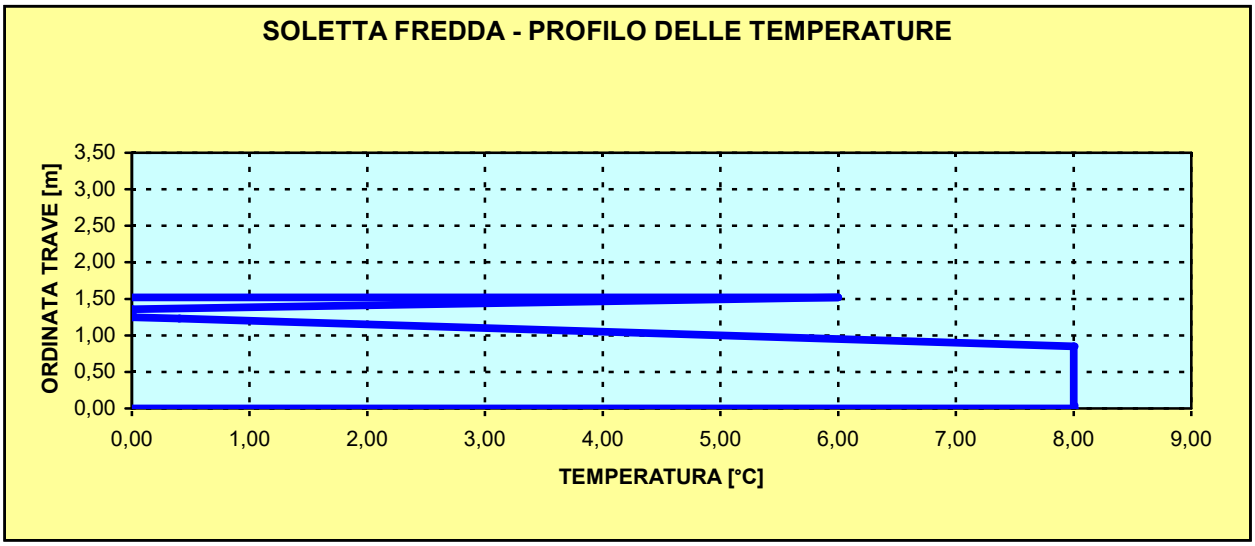
### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| CARATTERISICA GEOMETRICA/INERZIALE | | FASE I (pesi propri) | FASE II-A (permanenti) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (accidentali) |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,976 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,88 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m$^3$] | 3,214E+01 | 4,311E-02 | 4,311E-02 | 4,311E-02 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,553 | 0,553 | 0,553 |
| Area della sezione | A [m$^2$] | 7,018E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 | 7,799E-02 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m$^4$] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,090E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m$^4$] | 1,739E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 | 2,371E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m$^3$] | - | 2,451E-02 | 2,451E-02 | 2,451E-02 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m$^3$] | - | 2,643E-02 | 2,643E-02 | 2,643E-02 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m$^3$] | - | 2,937E-02 | 2,937E-02 | 2,937E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso trave | $W_{tr,sup}$ [m$^3$] | 2,196E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 | 3,401E-02 |
| Modulo di resitenza intradosso trave | $W_{tr,inf}$ [m$^3$] | -3,797E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 | -4,288E-02 |

| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT POSITIVO (SOLETTA CALDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 16,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 8,97 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 13,63 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 6.119,52 | [kN] |




| DEFINIZIONE DEL PROFILO DI TEMPERATURA PER ΔT NEGATIVO (SOLETTA FREDDA) | | | |
|---|---|---|---|
| Temperatura all'estradosso della soletta: | | 6,00 | [°C] |
| Temperatura all'intradosso della trave metallica: | | 8,00 | [°C] |
| Larghezza di applicazione dell'azione termica in soletta per singola trave: | $L_{\Delta T}$ | 5,07 | [m] |
| Gradiente termico lineare per unità di altezza: | $\Delta T_{,1}$ | 0,22 | [°C/m] |
| Gradiente termico lineare totale: | $\Delta T$ | 0,33 | [°C] |
| Azione normale isostatica: | $N_{\Delta T}$ | 72,27 | [kN] |



### 9.10.5 AZIONE LONGITUDINALE DELLA FRENATURA

L'azione longitudinale della frenatura viene valutata secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" – par. 5.1.3.5, mediante la seguente relazione:

$$180,00\,kN \le q_3 = 0,60 \cdot \left(2 \cdot Q_{1k}\right) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \le 900,00\,kN$$

Considerata una lunghezza complessiva dell'impalcato pari a **26,97 m**, l'azione complessiva della frenatura risulta pari a:

$$q_3 = 0,60 \cdot \left(2 \cdot 300,00\right) + 0,10 \cdot 9,00 \cdot 3,00 \cdot 26,97 = 432,82kN$$

L'azione di frenatura viene ripartita in maniera uniforme su tutte le travi metalliche costituenti l'impalcato. L'azione della frenatura di pertinenza della singola trave risulta dunque pari a:

$$F_{trave} = \frac{432,86}{5} = 86,56kN$$

L'azione della frenatura verrà applicata come carico orizzontale longitudinale uniformemente distribuito su ciascuna trave (considerata la lunghezza della sola trave metallica):

$$f_{trave} = \frac{F_{trave}}{L_{trave}} = \frac{86,56}{26,97} = 3,21\frac{kN}{m}$$

Tale azione verrà presa in considerazione esclusivamente per la valutazione dell'escursione dei giunti e degli apparecchi di appoggio/isolamento.

### 9.10.6 AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO

L'altezza di riferimento per la valutazione della pressione caratteristica del vento è stata valutata, a favore di sicurezza, pari a **$h_1$ = 10,00 m** dal piano di campagna.
All'altezza massima dal piano di campagna sono stati sommati:

- Altezza massima delle travi → **$h_2$ = 1,25 m**
- Spessore della soletta → **$h_3$ = 0,27 m**
- Spessore massima della pavimentazione → **$h_4$ = 0,21 m**
- Sagoma fittizia dell'autoveicolo → **$h_5$ = 3,00 m**

L'altezza totale di riferimento, a favore di sicurezza, per la valutazione della pressione caratteristica del vento risulta pertanto pari a:

**$h_{rif,1}$ = 10,00 + 1,25 + 0,27 + 0,21 + 3,00 = 14,73 m**

| 2) Emilia Romagna |
|---|

| Zona | $v_{b,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_s$ |
|---|---|---|---|
| 2 | 25 | 750 | 0,45 |
| $a_s$ (altitudine sul livello del mare [m]) | | | 200 |
| $T_R$ (Tempo di ritorno) | | | 100 |
| **$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$** $c_a = 1$ per $a_s \le a_0$<br>$c_a = 1+k_s (a_s/a_0 - 1)$ *per* $a_0 < a_s \le 1500$ *m* | | | |
| $c_a$ = 1 | | $v_b$ [m/s] = 25,000 | |
| **$v_r = v_b \cdot c_r$** $c_r = 0,75 \cdot \{1-0,2 \cdot \ln[-\ln(1-1/T_r)]\}^{0,5}$ | | | |
| $c_r$ = 1,03924 | | $v_r$ [m/s] = 25,981 | |

p (pressione del vento [N/mq]) = $q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

$q_r$ (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$c_e$ (coefficiente di esposizione)

$c_p$ (coefficiente di pressione)

$c_d$ (coefficiente dinamico)

Pressione cinetica di riferimento

$q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2$ ($\rho$ = 1,25 kg/mc)

| $q_r$ [N/mq] | 421,88 |
|---|---|

Coefficiente di pressione

Esso dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

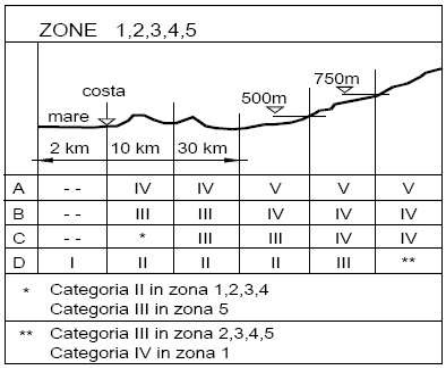
Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,....); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

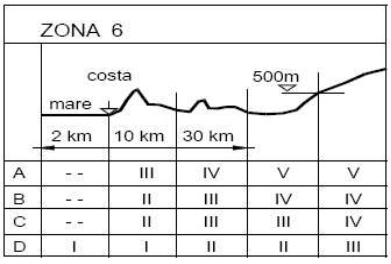
Categoria di esposizione




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - - | IV | IV | V | V | V |
| B | - - | III | III | IV | IV | IV |
| C | - - | * | III | III | IV | IV |
| D | I | II | II | II | III | ** |

* Categoria II in zona 1,2,3,4
Categoria III in zona 5

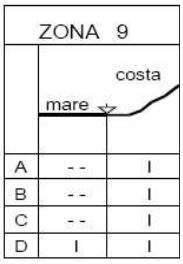
** Categoria III in zona 2,3,4,5
Categoria IV in zona 1




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | - - | III | IV | V | V |
| B | - - | II | III | IV | IV |
| C | - - | II | III | III | IV |
| D | I | I | II | II | III |

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | - - | - - | IV |
| B | - - | - - | IV |
| C | - - | - - | III |
| D | I | II | * |

* Categoria II in zona 8
Categoria III in zona 7




| | | |
|---|---|---|
| A | - - | I |
| B | - - | I |
| C | - - | I |
| D | I | I |

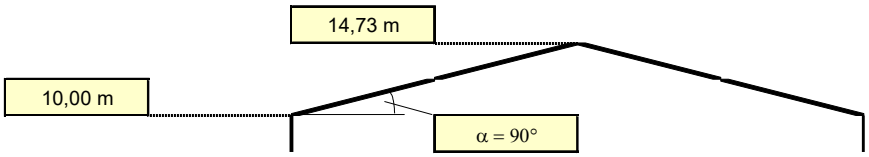
| Zona | Classe di rugosità | $a_s$ [m] |
|---|---|---|
| 2 | C | 200 |

$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \, [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)]$ per $z = z_{min}$

$c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$

| Cat. Esposiz. | $k_r$ | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] | $c_t$ |
|---|---|---|---|---|
| IV | 0,22 | 0,3 | 8 | 1 |

| z [m] | $c_e$ |
|---|---|
| z = 8 | 1,634 |
| z = 10 | 1,783 |
| z = 14,73 | 2,053 |



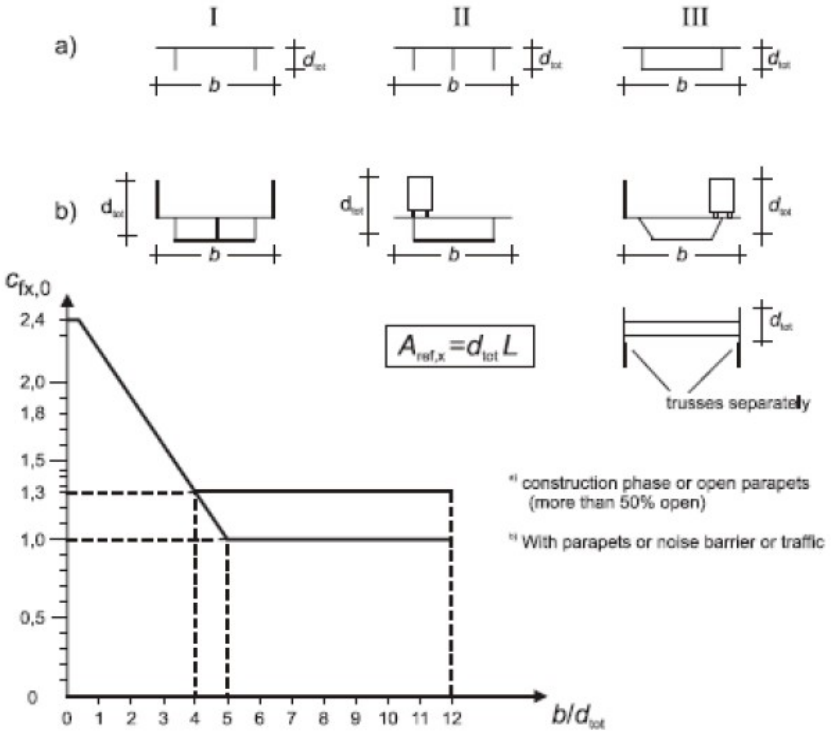

Coefficiente di forma (Edificio aventi una parete con aperture di superficie < 33% di quella totale)

Strutture non stagne

A favore di sicurezza si considera il massimo coefficiente $c_e$ calcolato:

**$c_e$ = 2,053**

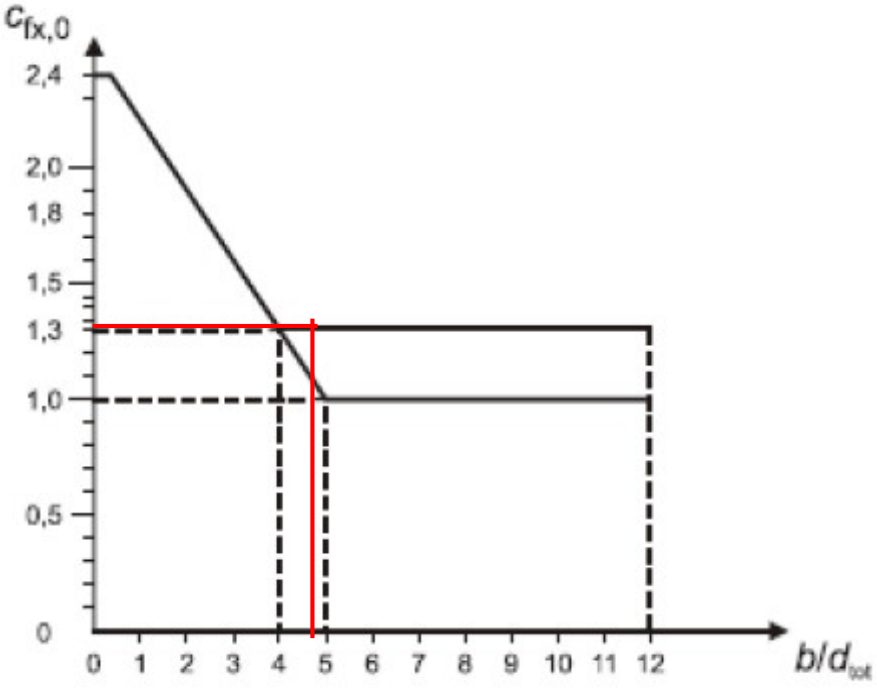
Il coefficiente di forma $c_p$ viene ricavato in riferimento al punto 8.3 dell'EC.1 parte 1-4 (denominato $c_{f,x}$):




Per il calcolo del coefficiente di forma, si fa riferimento all'altezza $d_{tot}$ relativa all'altezza massima valutata come la somma dell'altezza delle travi (H=125cm), dello spessore della soletta (H=27cm), dello spessore della pavimentazione (H=21cm) e dell'altezza del veicolo (H=300cm)→ **$d_{tot}$ = 4,73 m**.

Il rapporto **$b/d_{tot}$** risulta pari a:

**$b/d_{tot}$ = 20,43 / 4,73 = 4,99**




Si assume pertanto **$c_p \approx 1,30$**.

La pressione del vento di calcolo risulta dunque pari a:

**$p_{vento}$ = 0,42188 x 2,053 x 1,30 x 1,00 = 1,13 kN/m²**

L'azione trasversale risultante del vento sull'impalcato, valutata per metro lineare di impalcato stesso, è definita nella tabella successiva:

| TRATTO | h [m] | L [m] | A [m²] | $P_{VENTO}$ [kN/m²] | $P_{VENTO}$ [kN] |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_{rif}$ | 4,73 | 1,00 | 4,73 | 1,13 | 5,34 |

La quota del punto di applicazione, rispetto all'intradosso dell'impalcato, della risultante trasversale del vento risulta pari a **2,365 m**.

L'azione trasversale del vento produce un momento flettente trasversale sull'impalcato che risulta pari a:

**$M_{T,vento}$ = 5,34 x [2,365– (1,25 + 0,27) / 2] = 8,57 kNm/m**

Tale azione si considera scomposta in coppia sulle travi di estremità (effetto "tira e spingi") producendo sulle travi di estremità un'azione verticale (alternata in segno).

Tale azione verticale, considerata una distanza tra le travi di bordo pari a **14,00 m**, risulta pari a:

**$p_{vento,trave}$ = 8,57 / 14,00 ≈ ± 0,61 kN/m**

## 9.11 CARICHI AGENTI SULLE SPALLE

### 9.11.1 PESO PROPRIO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI IN CEMENTO ARMATO

Il peso per unità di volume del cemento armato è assunto pari a **25,0 kN/m³**.

### 9.11.2 SPINTA DEI TERRENI A TERGO DELLA SPALLA

Trattandosi di una struttura fondata su pali, e dunque di una struttura di tipo rigido, la spinta laterale del terreno da rilevato viene considerata in condizioni di riposo mediante la seguente relazione:

$$S_T = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot k_0 \cdot H^2$$

dove:

- γ è il peso per unità di volume del terreno
- $k_0$ è il coefficiente di spinta a riposo, valutato mediante la formulazione di Coulomb:

$$k_0 = 1 - sen(\varphi)$$

  con:
  - φ = angolo di attrito interno
- H è l'altezza complessiva dello strato di terreno.

Il punto di applicazione della spinta è posto a 1/3 dell'altezza del singolo strato di terreno.

Si considerano le seguenti caratteristiche del terreno spingente:

- Peso del terreno per unità di volume → **$\gamma_t$ = 19,00 kN/m³**
- Angolo di attrito interno → **φ = 37,00°**

### 9.11.3 SPINTA LATERALE DOVUTA AI SOVRACCARICHI PERMANENTI A TERGO DELLA SPALLA

La spinta dei sovraccarichi permanenti a tergo delle opere è stata valutata considerando una condizione di riposo del terreno.

La spinta dovuta ai sovraccarichi viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_q = q \cdot k_0 \cdot H$$

dove:

- q è l'entità del sovraccarico agente

Il sovraccarico permanente a tergo del muro è stato considerato pari al peso della pavimentazione stradale valutato sullo spessore medio dello strato di pavimentazione stessa → **26,50 cm**.

### 9.11.4 SPINTA LATERALE DOVUTA AI SOVRACCARICHI ACCIDENTALI A TERGO DELLA SPALLA

La spinta dei sovraccarichi accidentali a tergo delle opere è stata valutata considerando una condizione di riposo del terreno.

La spinta dovuta ai sovraccarichi viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_q = q \cdot k_0 \cdot H$$

dove:

- q è l'entità del sovraccarico agente

A tergo della spalla è stato considerato un carico accidentale forfettario pari a **30,00 kN/m²**.

## 9.12 AZIONE SISMICA SULLE SOTTOSTRUTTURE

### 9.12.1 AZIONE INERZIALE DELLE MASSE

Le azioni inerziali, orizzontali e verticali, dovute alle accelerazioni subite in fase sismica dalle masse degli elementi strutturali e del terreno vengono valutate moltiplicando il peso sismico degli elementi strutturali per i coefficienti sismici orizzontale **$k_h$** e verticale **$k_v$**.

### 9.12.2 SOVRASPINTA DINAMICA DEI TERRENI

La sovraspinta dinamica dei terreni in fase sismica viene valutata mediante la relazione di Wood:

$$\Delta P = \gamma \cdot a_g \cdot S \cdot H^2$$

dove:

- γ è il peso per unità di volume del terreno
- H è l'altezza della struttura soggetta alla spinta del terreno

# 10 COMBINAZIONI DI CARICO

## 10.1 COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONI QUASI- PERMANENTI

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.
Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche quasi permanenti allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum G_{kj} + \sum (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_{kj}$ rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{ki}$ rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{2i}$ rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori quasi permanenti

## 10.2 COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONI FREQUENTI

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.
Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche frequenti allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_{kj}$ rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$ rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$ rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{1i}$ rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori frequenti

## 10.3 COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONI CARATTERISTICHE

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.
Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche caratteristiche allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum G_{kj} + Q_{k1} + \sum (\psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_{kj}$ rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$ rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$ rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile

- $\Psi_{0i}$ rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

## 10.4 COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO STATICHE

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.
Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche allo Stato Limite Ultimo, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum_{j=1}^{m} \left(\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}\right) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^{n} \left(\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki}\right)$$

dove:

- $\gamma_G$ e $\gamma_Q$ rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi
- $G_{kj}$ rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$ rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$ rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{0i}$ rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

I coefficienti di amplificazione dei carichi per le combinazioni di carico A1, secondo il D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 5.1.3.12, tabella 5.1.V, sono di seguito riepilogati:

**Tabella 5.1.V** – *Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU*

| | | Coefficiente | EQU[1] | A1 STR | A2 GEO |
|---|---|---|---|---|---|
| Carichi permanenti | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{G1}$ | 0,90<br>1,10 | 1,00<br>1,35 | 1,00<br>1,00 |
| Carichi permanenti non strutturali[2] | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{G2}$ | 0,00<br>1,50 | 0,00<br>1,50 | 0,00<br>1,30 |
| Carichi variabili da traffico | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{Q}$ | 0,00<br>1,35 | 0,00<br>1,35 | 0,00<br>1,15 |
| Carichi variabili | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{Qi}$ | 0,00<br>1,50 | 0,00<br>1,50 | 0,00<br>1,30 |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{\varepsilon 1}$ | 0,90<br>1,00[3] | 1,00<br>1,00[4] | 1,00<br>1,00 |
| Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari | favorevoli<br>sfavorevoli | $\gamma_{\varepsilon 2}$, $\gamma_{\varepsilon 3}$, $\gamma_{\varepsilon 4}$ | 0,00<br>1,20 | 0,00<br>1,20 | 0,00<br>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] 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
[4] 1,20 per effetti locali

I coefficienti di partecipazione dei carichi, secondo il D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 5.1.3.12, tabella 5.1.VI, sono di seguito riepilogati:

**Tabella 5.1.VI** - *Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali*

| *Azioni* | *Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)* | *Coefficiente $\psi_0$ di combinazione* | *Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)* | *Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)* |
|---|---|---|---|---|
| *Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)* | Schema 1 (Carichi tandem)<br>Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti<br>Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)<br>Schema 2 | 0,75<br>0,40<br>0,40<br>0,0 | 0,75<br>0,40<br>0,40<br>0,75 | 0,0<br>0,0<br>0,0<br>0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| | 5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| *Vento $q_5$* | Vento a ponte scarico<br>SLU e SLE<br>Esecuzione | <br>0,6<br>0,8 | <br>0,2<br>---- | <br>0,0<br>0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| *Neve $q_5$* | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| *Temperatura* | $T_k$ | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

## 10.5 COMBINAZIONE DI CARICO SISMICHE

In fase sismica è state ipotizzate un'unica combinazione di carico allo Stato Limite di Salvaguardia ottenuta tramite la relazione generale:

$$F_d = E + \sum G_{kj} + \sum (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- E rappresenta il carico sismico
- $G_{kj}$ rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{ki}$ rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{2i}$ rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori quasi permanenti

# 11 ANALISI STRUTTURALE – MODELLI DI CALCOLO

## 11.1 GENERALITÀ

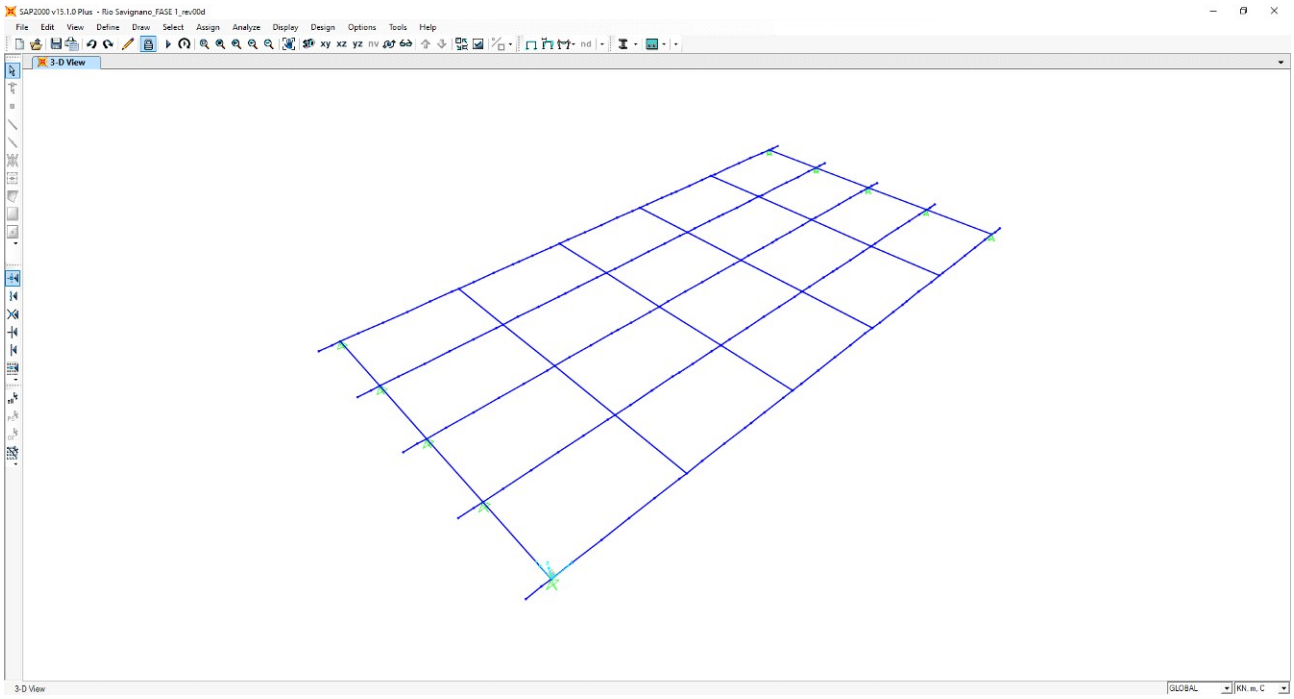
La valutazione delle sollecitazioni dell'impalcato, viene effettuata mediante l'ausilio di un modello ad elementi finiti ai fini di cogliere gli effetti della ripartizione trasversale dei carichi applicati.
In particolare si utilizza un modello a graticcio piano formato da n.4 elementi longitudinali rettilinei (travi con soletta collaborante) collegate tra loro da elementi trasversali (soletta) di larghezza unitaria e spessore pari allo spessore della soletta in c.a. (250 mm).
Per tenere conto delle diverse fasi costruttive, della differente natura dei carichi e della variazione della rigidezza delle membrature sono state considerate tre distinte fasi costruttive:

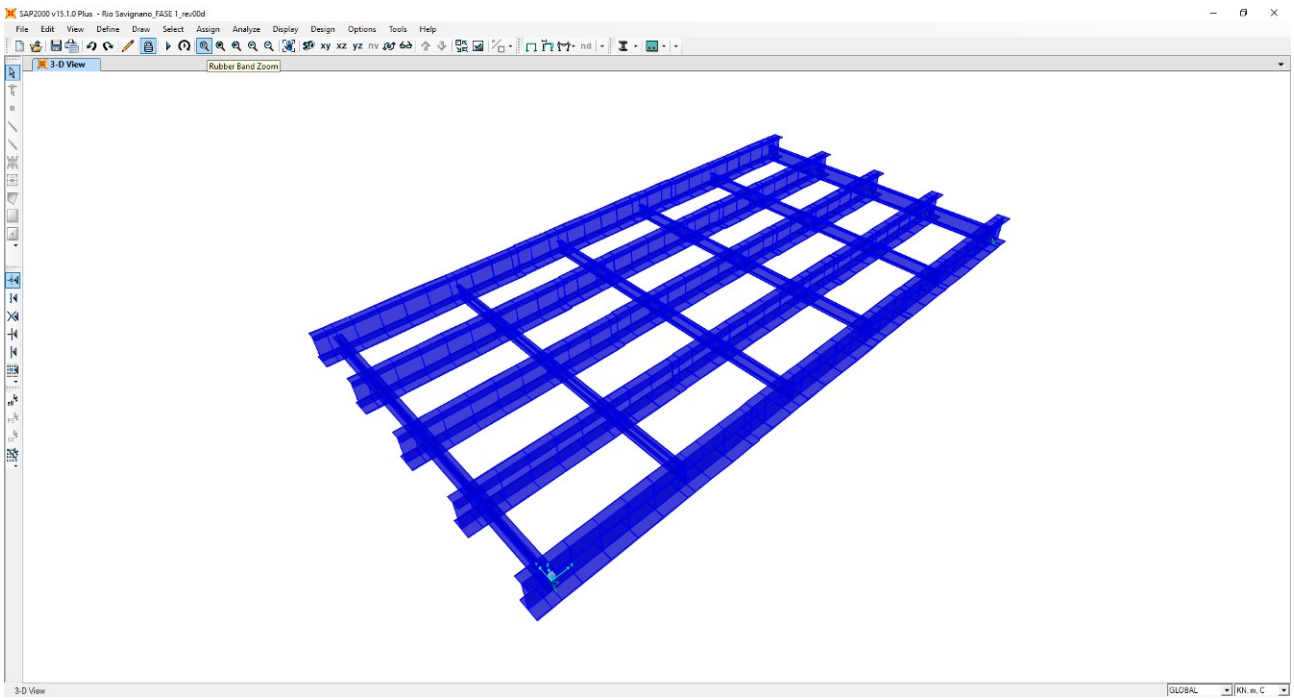
- **FASE 1**: la sezione resistente è costituita dalla sola sezione metallica. I carichi applicati sono costituiti dal peso proprio della carpenteria metallica e dal il peso proprio della soletta superiore considerata non ancora collaborante.
- **FASE 2**: la sezione resistente è costituita dalla sezione omogeneizzata trave metallica – soletta collaborante, con apposito coefficiente di omogeneizzazione. I carichi applicati sono costituiti dai carichi permanenti portati (carichi di lunga durata).
- **FASE 3**: la sezione resistente è costituita dalla sezione omogeneizzata trave metallica – soletta collaborante, con apposito coefficiente di omogeneizzazione. I carichi applicati sono costituiti dai carichi accidentali viaggianti, dal vento e dalla termica differenziale (carichi di breve durata).

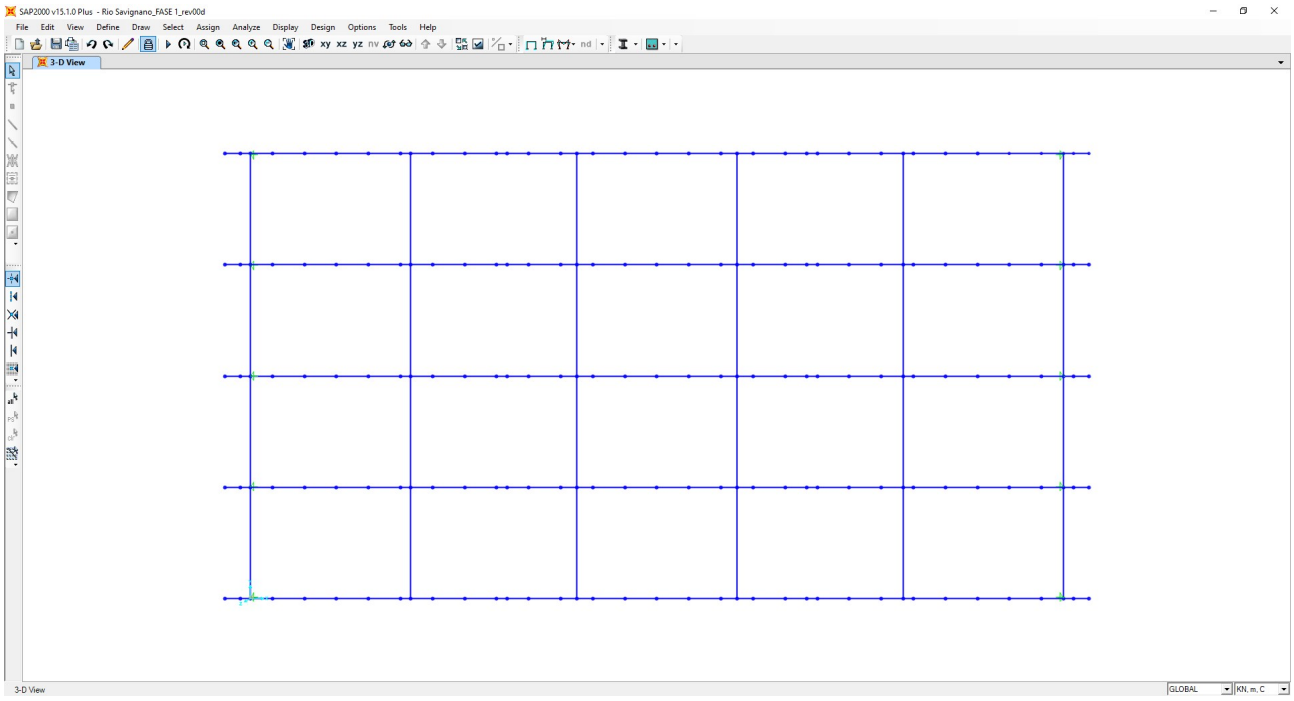
## 11.2 GEOMETRIA E MESH

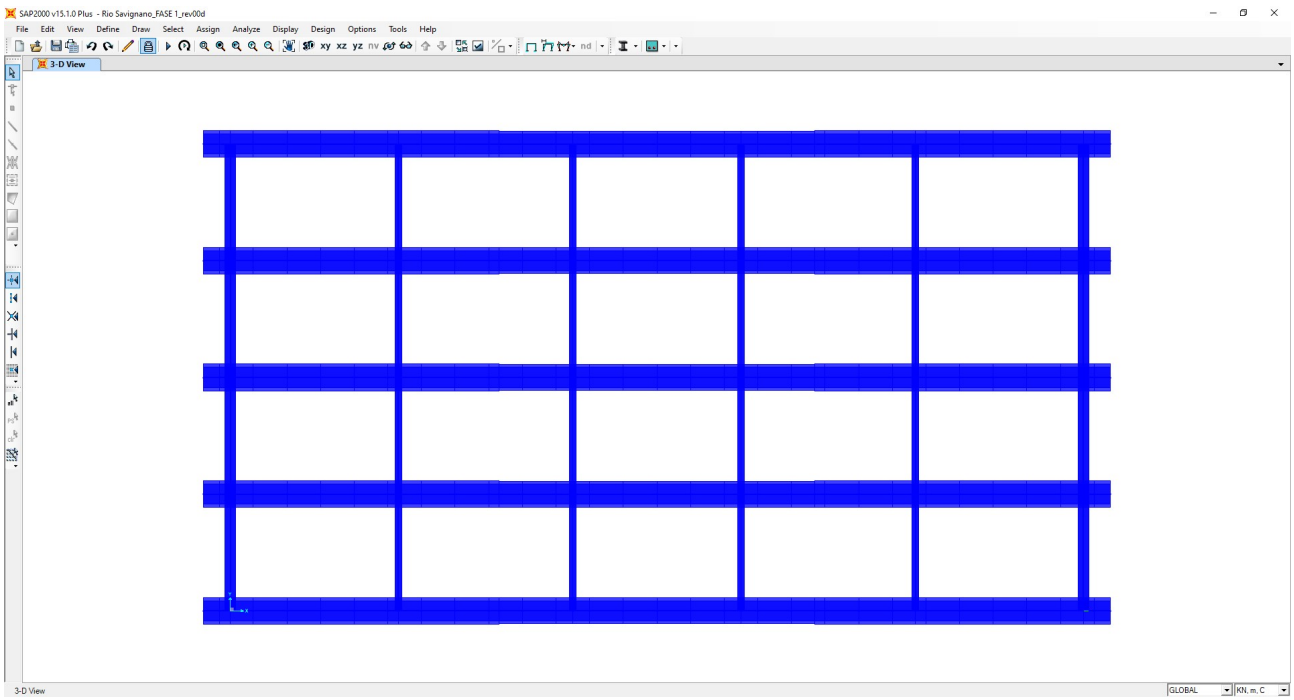
Le dimensioni degli elementi sono tali da riprodurre le rigidezze degli elementi considerati con sezioni interamente reagenti. Per tutti gli elementi strutturali si sono adottati elementi finiti monodimensionali tipo "*beam*" a due nodi, con tre gradi di libertà per ogni nodo (analisi piana – una componente spostamento e due componenti rotazione nulle) e caratterizzati da funzioni di forma lineari.

FASE 1

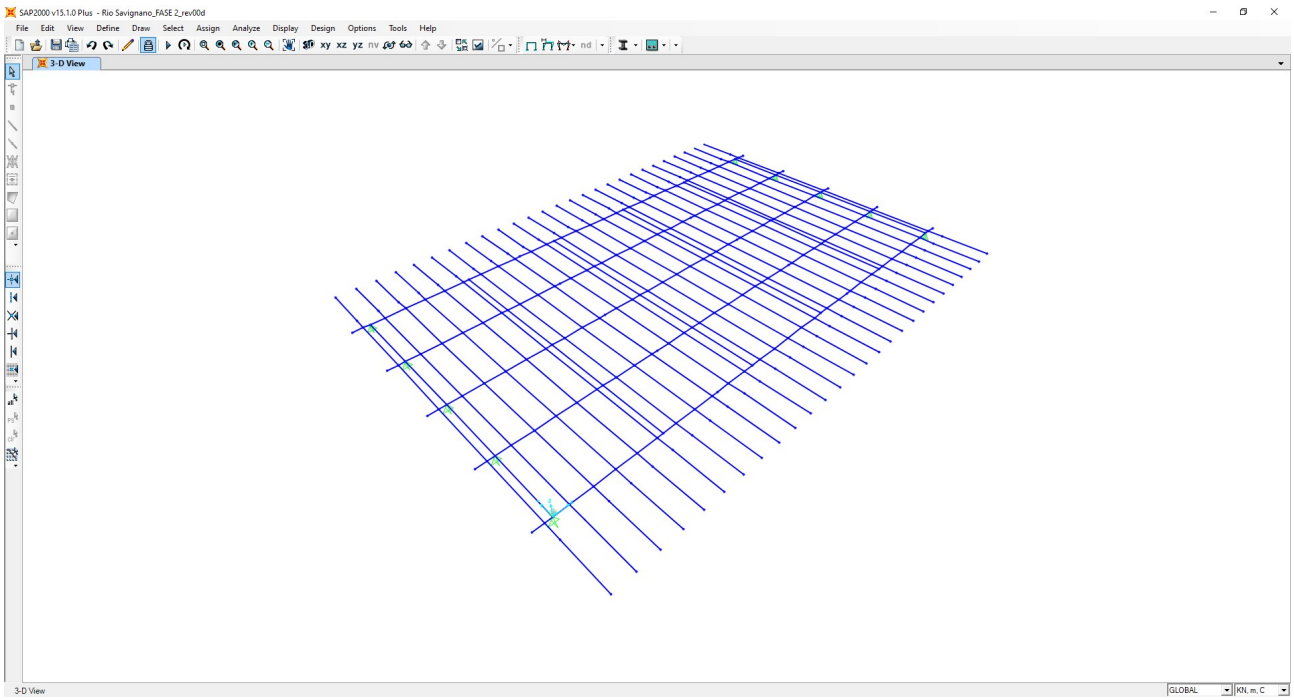


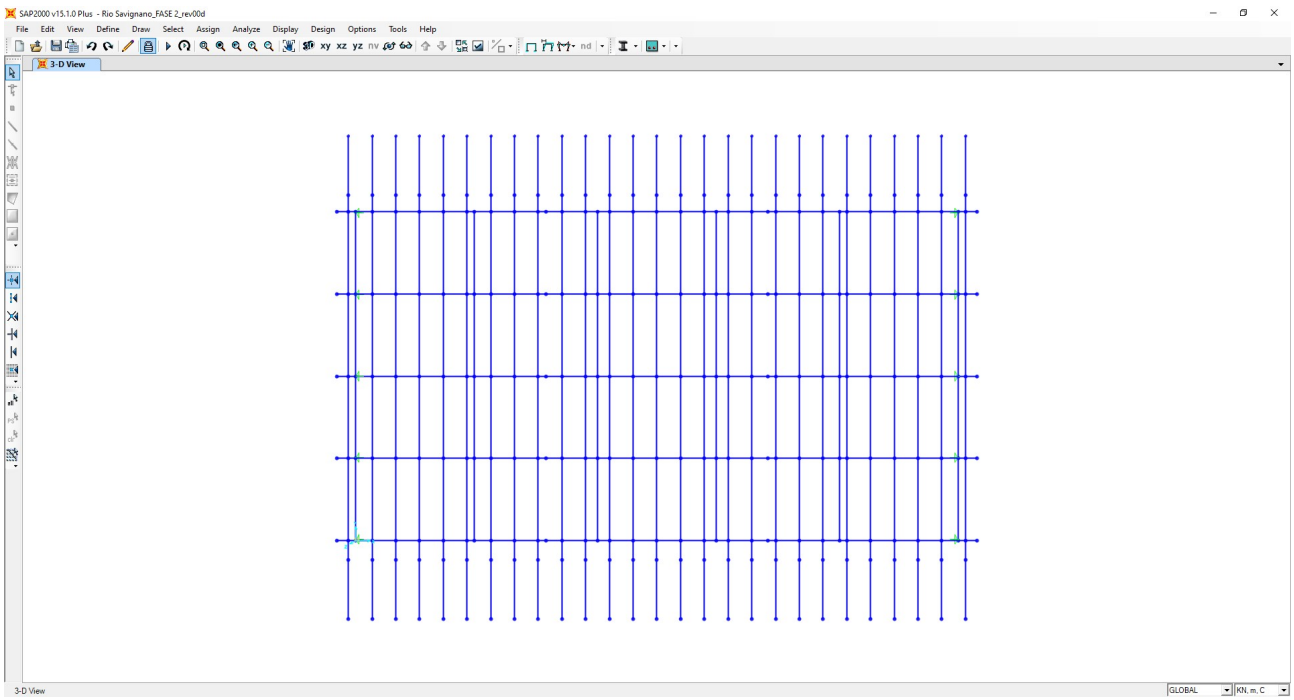

SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 1_rev00d
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
Rubber Band Zoom
3-D View
GLOBAL
KN, m, C


SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 1_rev00d
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
3-D View
GLOBAL
KN, m, C

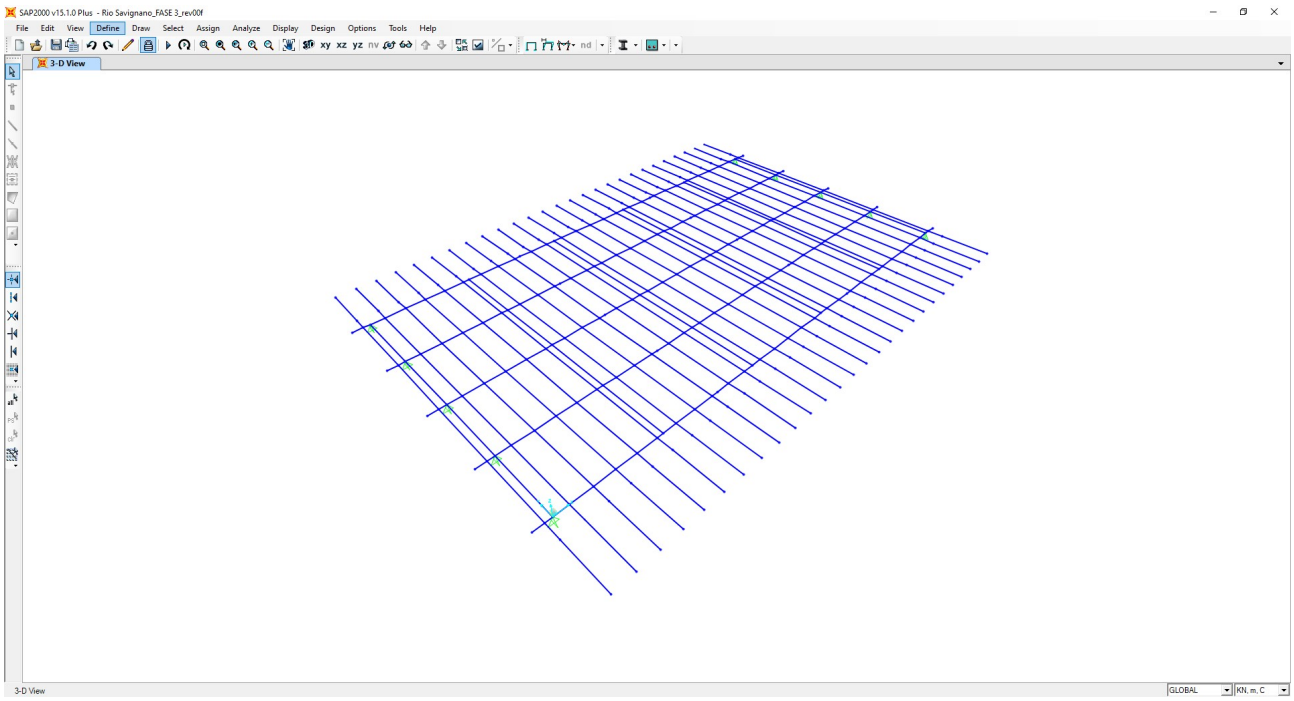

SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 1_rev00d
3-D View

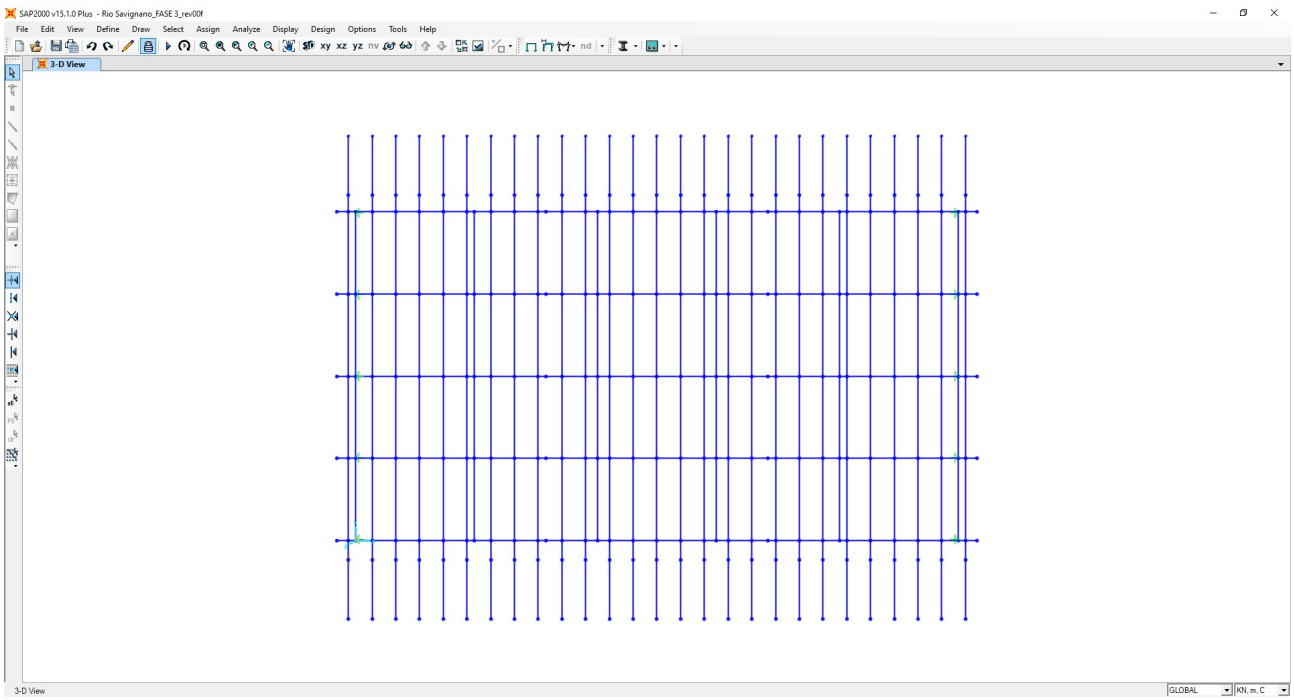
FASE 2


SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 2_rev00d
3-D View


SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 2_rev00d
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
3-D View
GLOBAL
KN, m, C

FASE 3


SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 3_rev00f
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
3-D View
GLOBAL
KN, m, C


SAP2000 v15.1.0 Plus - Rio Savignano_FASE 3_rev00f
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
3-D View
GLOBAL
KN, m, C

## 11.3 MODELLAZIONE DELLE TRAVI PRINCIPALI

Nel modello relativo alla fase I le travi metalliche principali sono state modellate secondo la loro reale sezione, mentre la soletta non è stata inserita (se non come carico sulle travi principali) perché ancora non collaborante.

In fase II e III le travi principali sono state modellate come elementi "beam" generici cui sono state assegnate le caratteristiche geometriche – inerziali delle sezioni omogeneizzate acciaio – calcestruzzo.

Nei paragrafi successivi sono riportate le caratteristiche geometriche – inerziali della sezione dei vari conci delle travi principali per le tre differenti fasi.

Considerando che le travi hanno le medesime caratteristiche geometriche, si illustreranno le verifiche della trave T5, la quale risulta essere la più sollecitata.

## 11.3.1 CONCIO 01A (T)

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

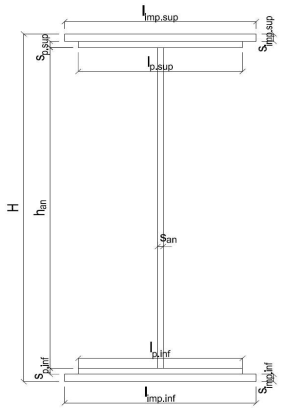
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



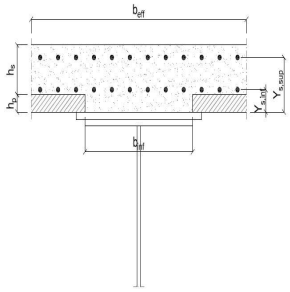

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superiore | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## 11.3.2 CONCIO 01A (G)

**A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

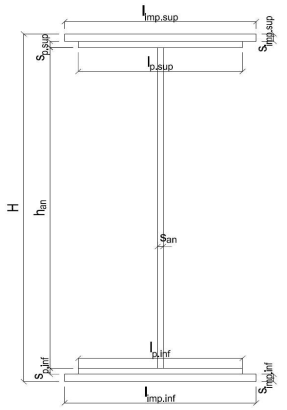
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

**B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA**

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



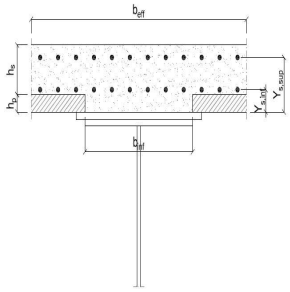

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

**C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO**

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

**D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA**

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superiore | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## 11.3.3 CONCIO 02A

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

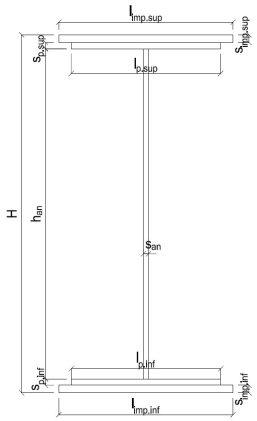
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 750,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 20,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 30,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.180,00 | [mm] | | | |



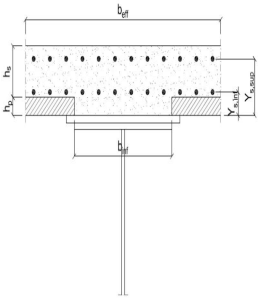

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 76.960,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,245E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,227E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 421,70 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,282E+07 | [mm³] |
| J | 1,844E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,962E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 1,499E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -4,708E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | -4,373E+07 | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 156,07 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 8,588E+05 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 3.790,00 | [mm] | J | 3,811E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 2.918,30 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 2.918,30 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 180,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,245E-02 | 9,804E-02 | 1,122E-01 | 2,293E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,422 | 0,793 | 0,839 | 1,057 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,696E-02 | 1,236E-01 | 1,337E-01 | 2,170E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 1,499E-05 | 6,559E-04 | 8,135E-04 | 2,120E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,844E-02 | 4,671E-02 | 5,025E-02 | 6,712E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 6,424E-02 | 7,378E-02 | 1,449E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 7,331E-02 | 8,502E-02 | 1,798E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 8,236E-02 | 9,644E-02 | 2,213E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,227E-02 | 1,022E-01 | 1,222E-01 | 3,471E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,282E-02 | 1,069E-01 | 1,285E-01 | 3,872E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,962E-02 | -6,288E-02 | -6,369E-02 | -6,668E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -4,708E-02 | -6,123E-02 | -6,212E-02 | -6,538E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | -4,373E-02 | -5,891E-02 | -5,989E-02 | -6,353E-02 |

## 11.3.4 CONCIO 03A (G)

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

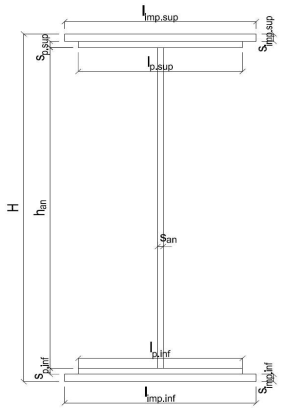
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



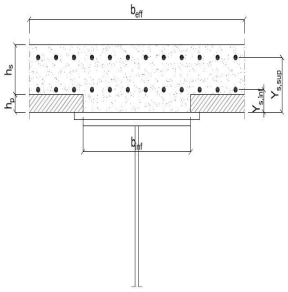

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superiore | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## 11.3.5 CONCIO 03A (T)

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

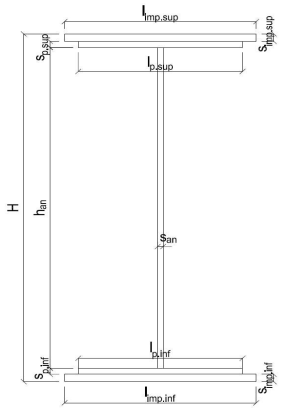
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



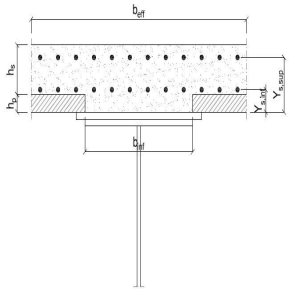

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,8)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superiore | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## 11.4 MODELLAZIONE DEI TRASVERSI E DELLA SOLETTA

### 11.4.1 TRASVERSI DI TESTATA

I trasversi metallici flessionali sono stati modellati secondo la loro reale sezione

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | |
|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | |
| Tensione caretteristica di rottura: | 510,00 | N/mm² |
| Tensione caratteristica di snervamento: | 355,00 | N/mm² |
| Resistenza di calcolo: | 338,10 | N/mm² |
| Modulo elastico: | 200.000,00 | N/mm² |

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 800,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 300,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 760,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 20,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 300,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 20,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

| DEFINIZIONE DELLE CLASSI | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 7,00 |
| Classe dell'ala superiore: | 1 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 38,00 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 7,00 |
| Classe dell'ala inferiore: | 1 |
| **CLASSE DEL PROFILO METALLICO** | 1 |

## 11.4.2 TRASVERSI CORRENTE

I trasversi metallici flessionali sono stati modellati secondo la loro reale sezione

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | | |
|---|---|---|---|
| Tipologia dell'acciaio | S355 | | |
| Tensione caretteristica di rottura: | | 510,00 | N/mm$^2$ |
| Tensione caratteristica di snervamento: | | 355,00 | N/mm$^2$ |
| Resistenza di calcolo: | | 338,10 | N/mm$^2$ |
| Modulo elastico: | | 200.000,00 | N/mm$^2$ |

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale della trave: | 600,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 200,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 18,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento superiore: | 0,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 564,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 16,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 200,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 18,00 | mm |
| Larghezza dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Spessore dell'eventuale impiattamento inferiore: | 0,00 | mm |
| Raggio di raccordo: | 0,00 | mm |

| DEFINIZIONE DELLE CLASSI | |
|---|---|
| Coefficiente ε: | 0,81 |
| Rapporto c/t dell'ala superiore (compreso di eventuale impiattamento): | 5,11 |
| Classe dell'ala superiore: | 1 |
| Rapporto c/t dell'anima: | 35,25 |
| Classe dell'anima: | 1 |
| Rapporto c/t dell'ala inferiore (compreso di eventuale impiattamento): | 5,11 |
| Classe dell'ala inferiore: | 1 |
| **CLASSE DEL PROFILO METALLICO** | 1 |

### 11.4.3 SOLETTA

In fase II e III la soletta è stata inserita nel modello suddivisa in strisce di larghezza variabile in funzione dell'interasse tra i trasversi e spessore **0,27 m**, quindi è stata inserita nel modello una trave con le caratteristiche meccaniche di tale striscia. Per quanto riguarda le caratteristiche di rigidezza della sezione, sono state considerate quelle relative a tale geometria eccezion fatta per la rigidezza torsionale. L'inerzia torsionale alla De Saint Venant di un rettangolo allungato vale:

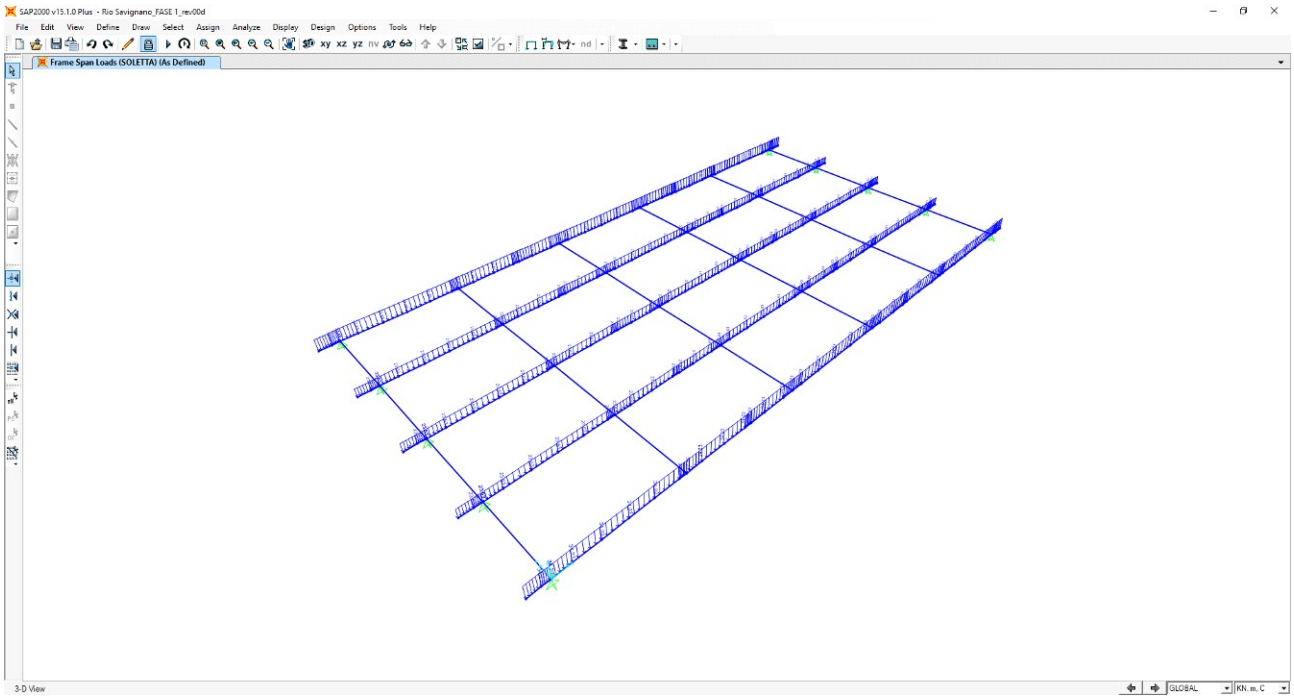
$$J_t = b\ s^3 / 3$$

Tale rigidezza in realtà vale per una trave. Quando si parla invece di strisce di soletta che costituiscono il grigliato equivalente per l'analisi a trave è necessario considerare solo metà di tale rigidezza in quanto una metà viene attribuita appunto alle strisce longitudinali e l'altra metà a quelle trasversali (vedi modellazione traversi). Si ottiene in definitiva:

$$J_t = b\ s^3 / 6$$

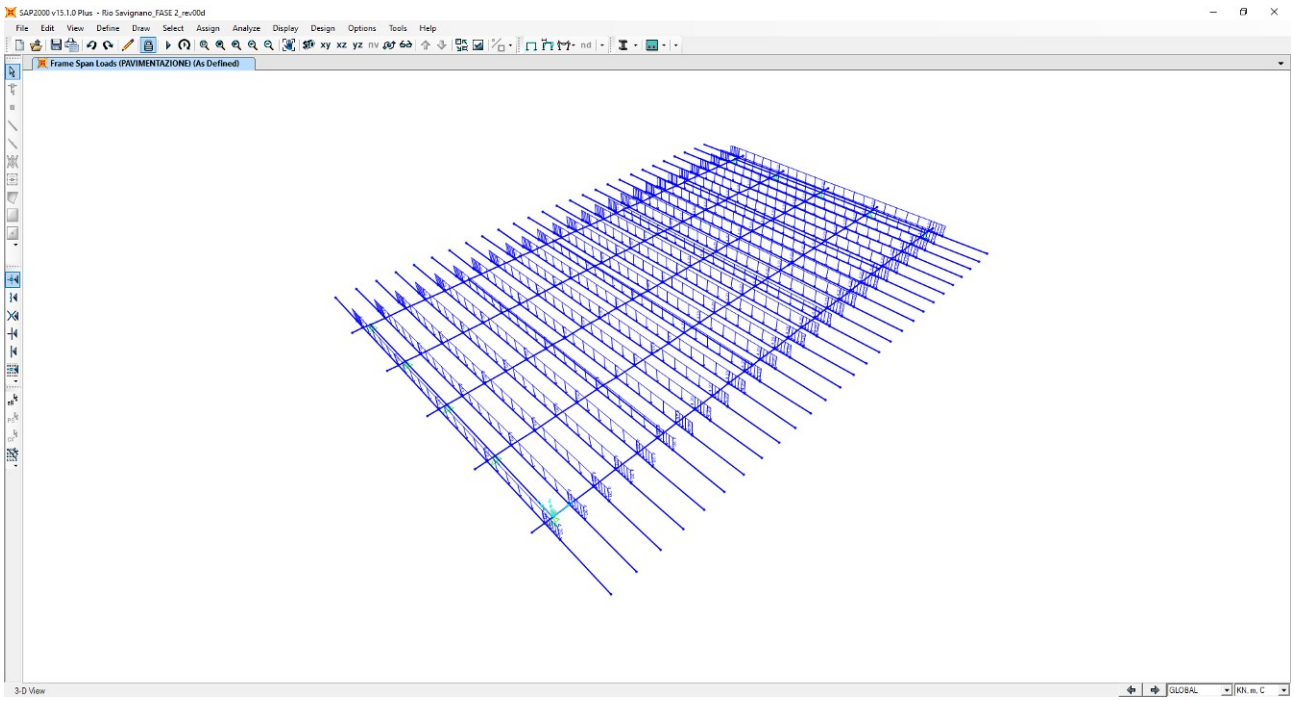
## 11.5 CARICHI APPLICATI

Di seguito è riportata l'applicazione del peso proprio della soletta sulle travi metalliche (FASE 1):

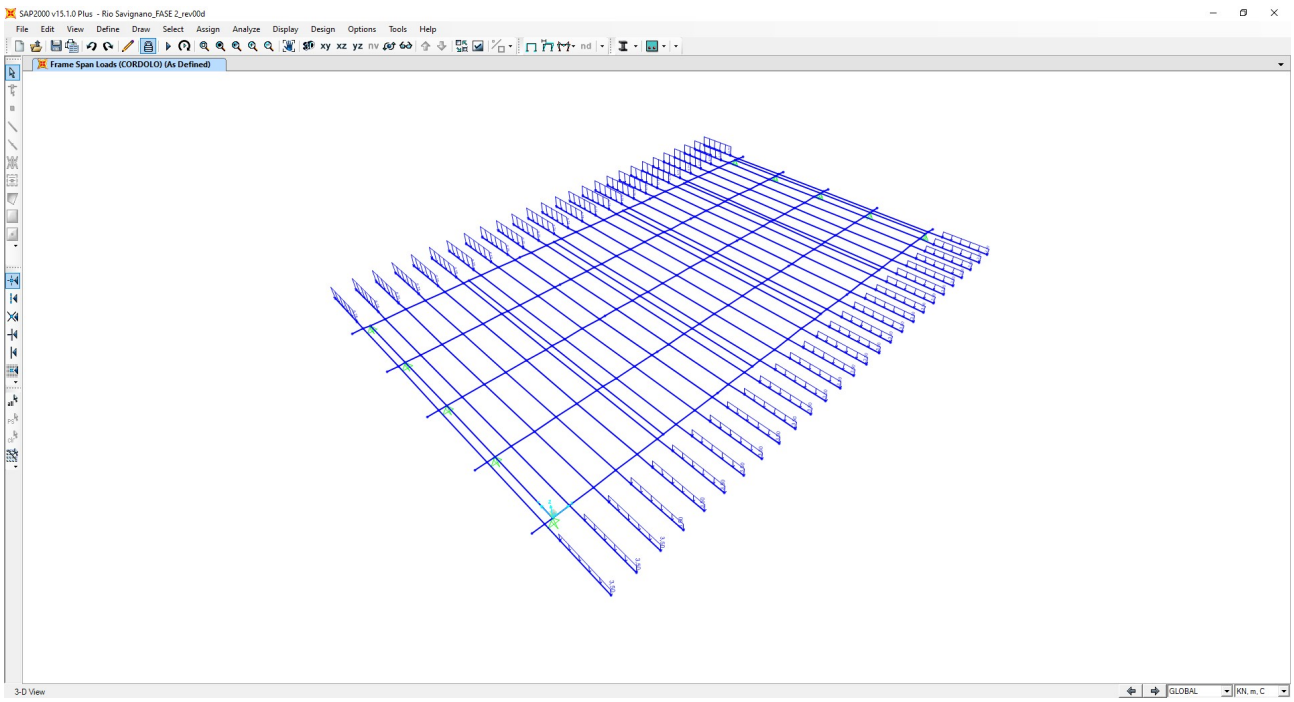



Per le fasi 2 e 3 la modellazione prende in conto solamente le distribuzioni di carico permanenti e accidentali, le uniche che presentano eccentricità significative rispetto all'asse impalcato e che inducono quindi ripartizioni trasversali non uniformi delle sollecitazioni. I carichi permanenti vengono modellati nella loro effettiva posizione sulla piattaforma come illustrato nelle figure seguenti.

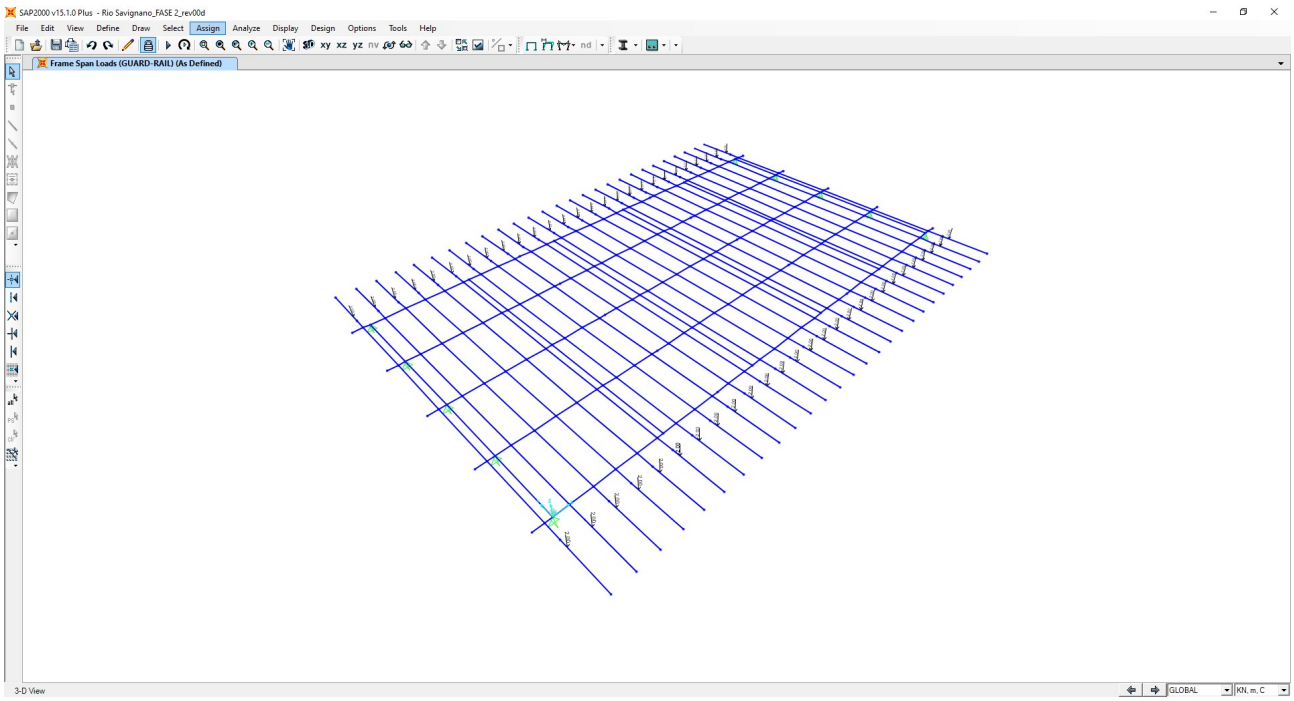
## Pavimentazione stradale



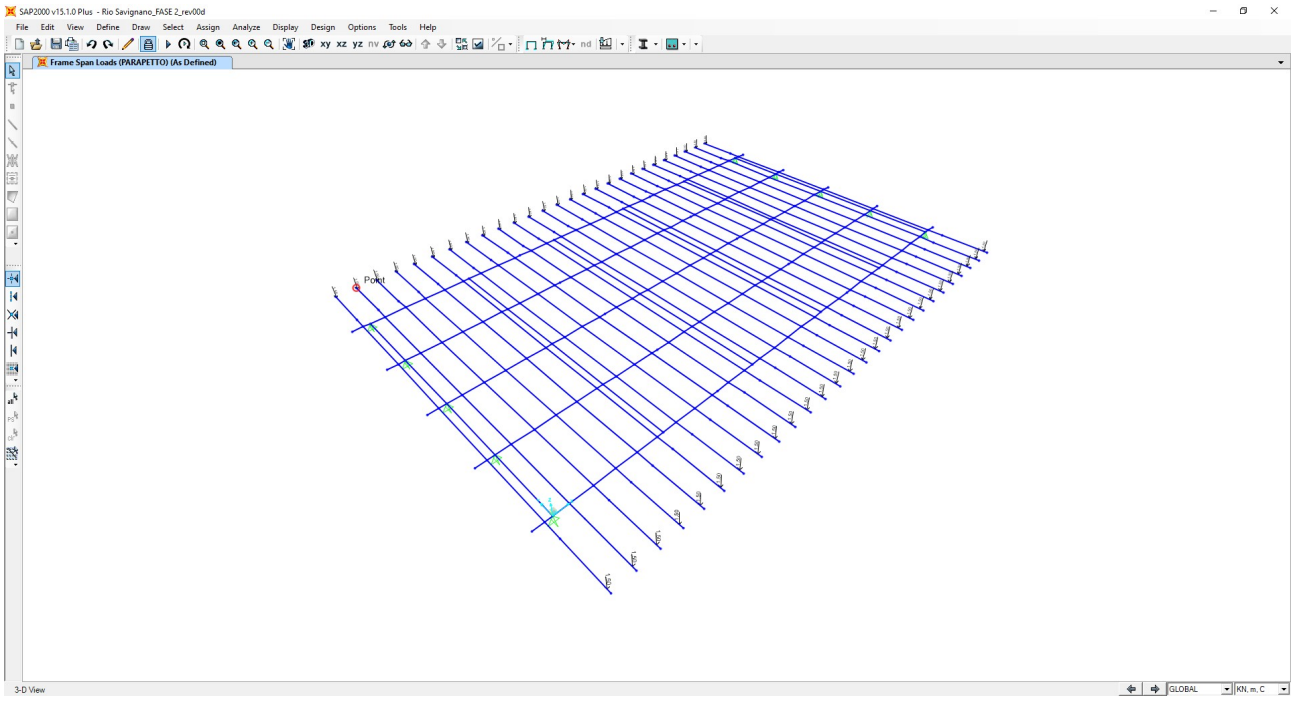

## Cordoli laterali



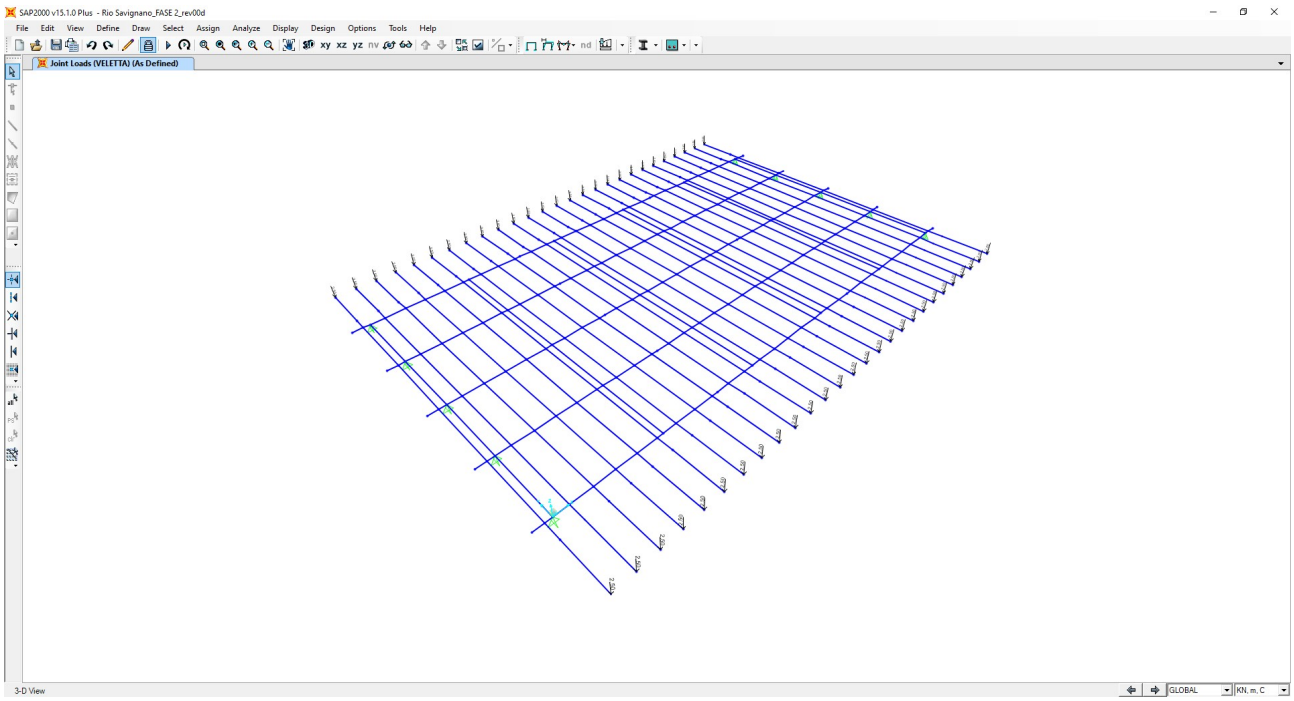
## Barriere guard - rail



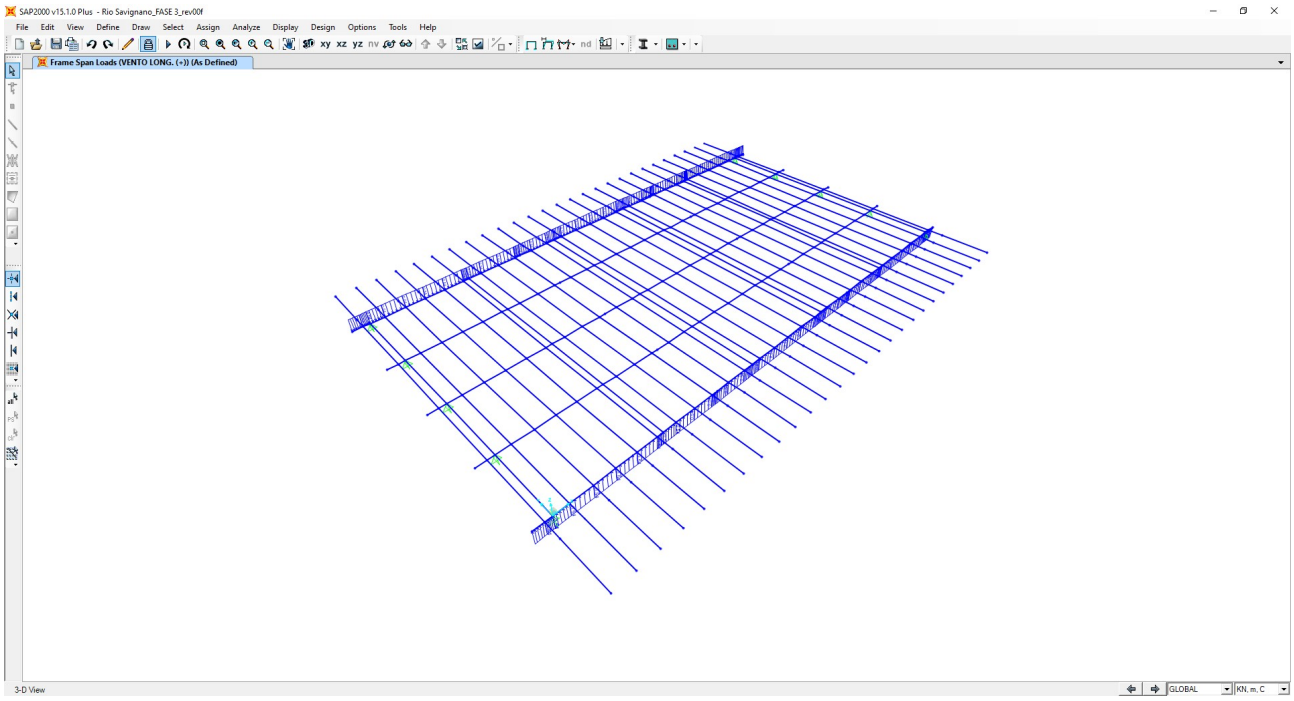

## Parapetto



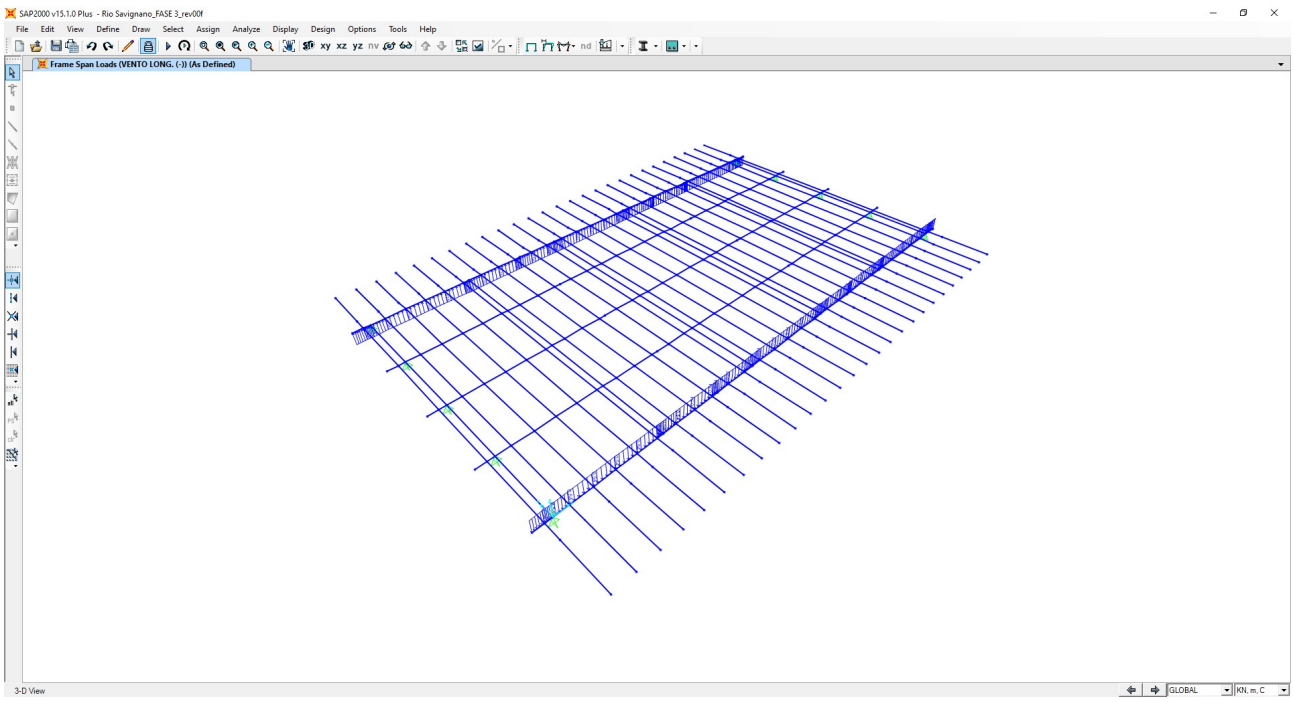
Velette laterale



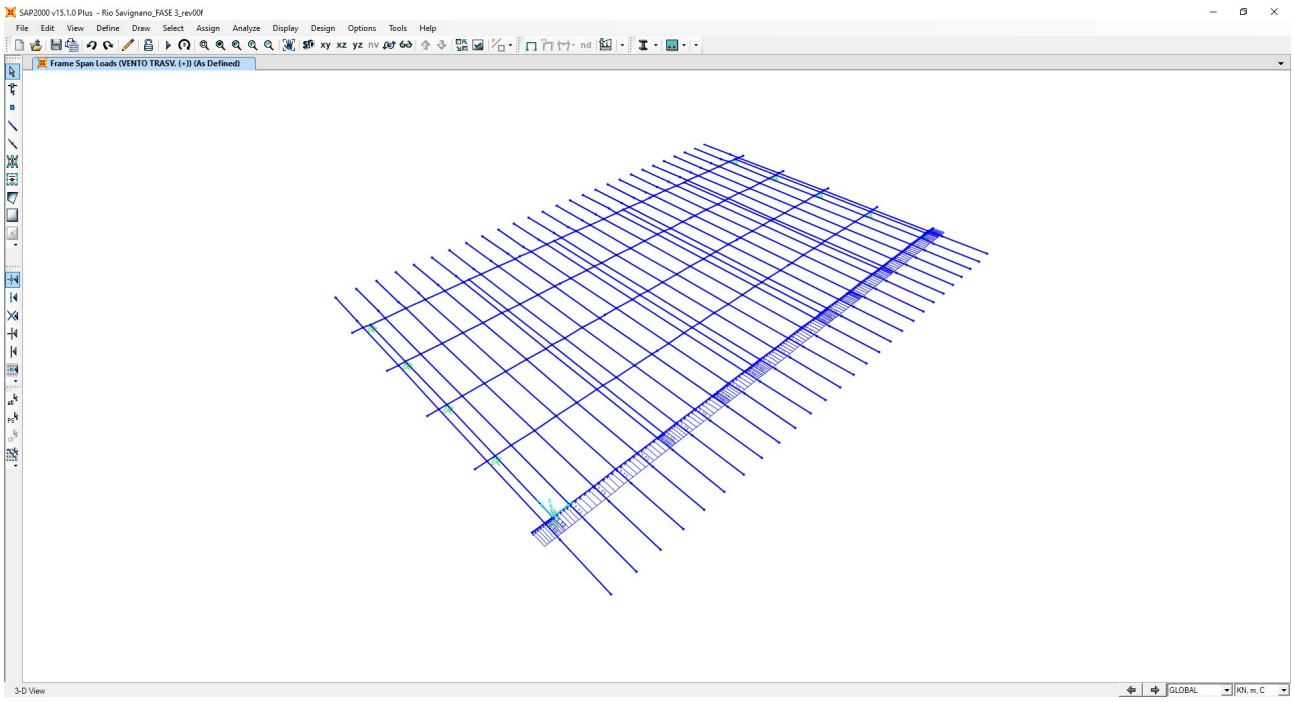

Azione longitudinale del vento (+) (effetto "tira – spingi" sulle travi di bordo)



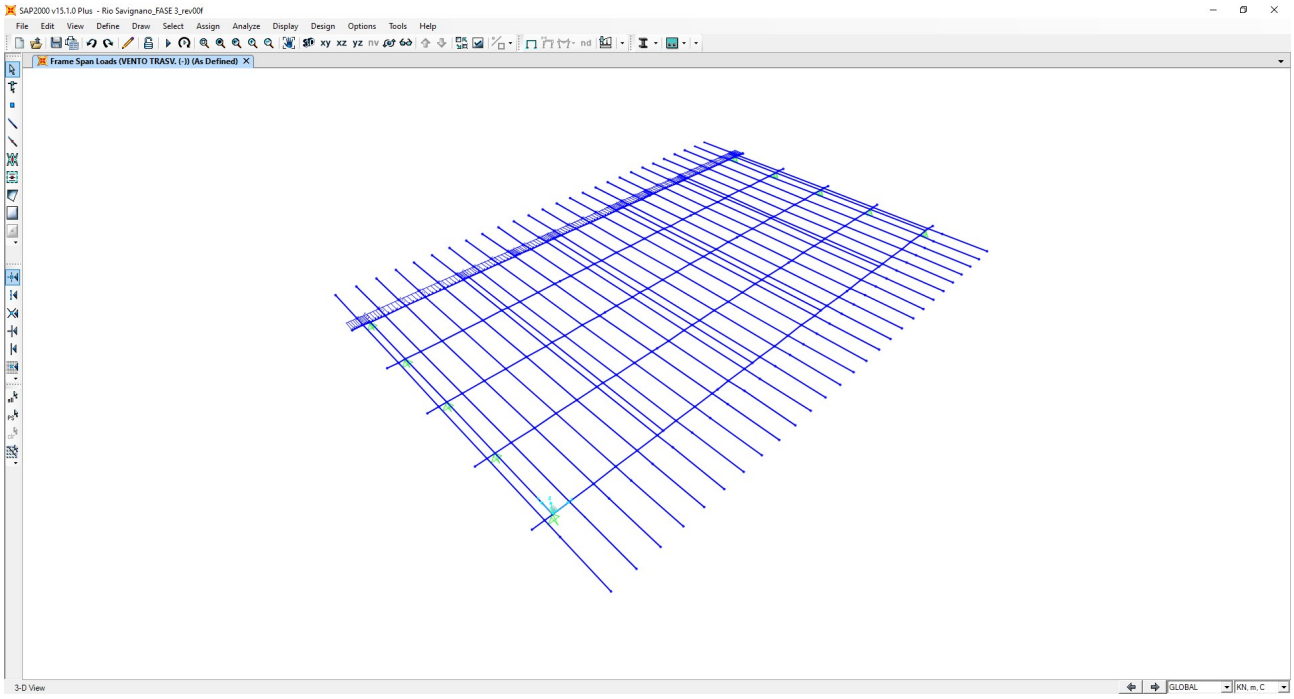
Azione longitudinale del vento (-) (effetto "tira – spingi" sulle travi di bordo)




Azione trasversale del vento (+)



Azione trasversale del vento (-)

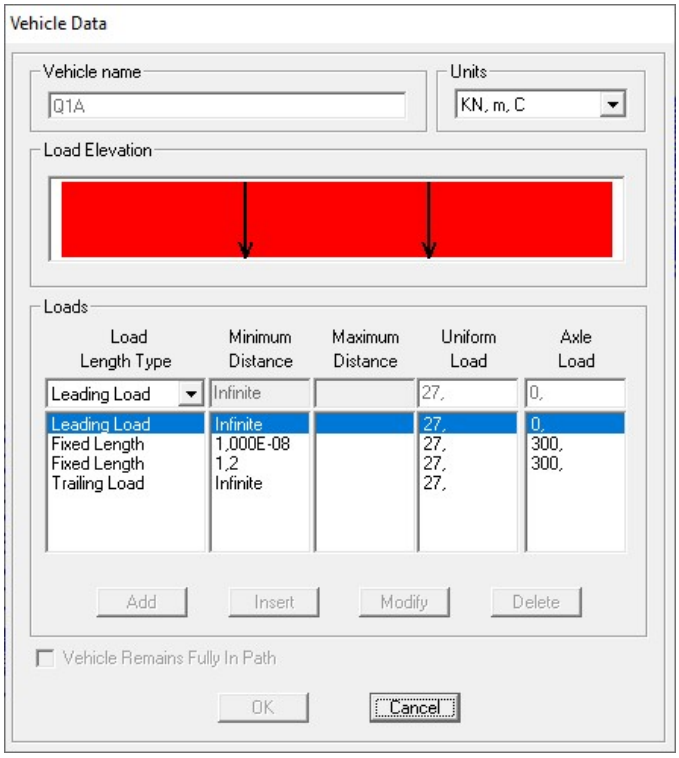


Carichi accidentali da traffico

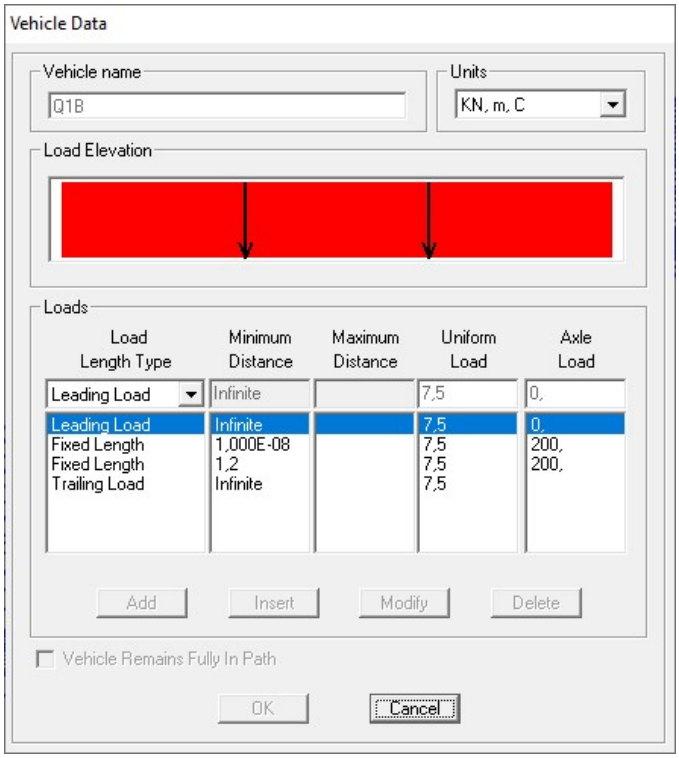
I carichi accidentali da traffico sono stati applicati come carichi mobili su specifici "path" disposti in corrispondenza degli assi delle corsie di carico definite al paragrafo 9.11.3.

Di seguito è riportata la definizione dei singoli carichi viaggianti (concentrati e distribuiti).

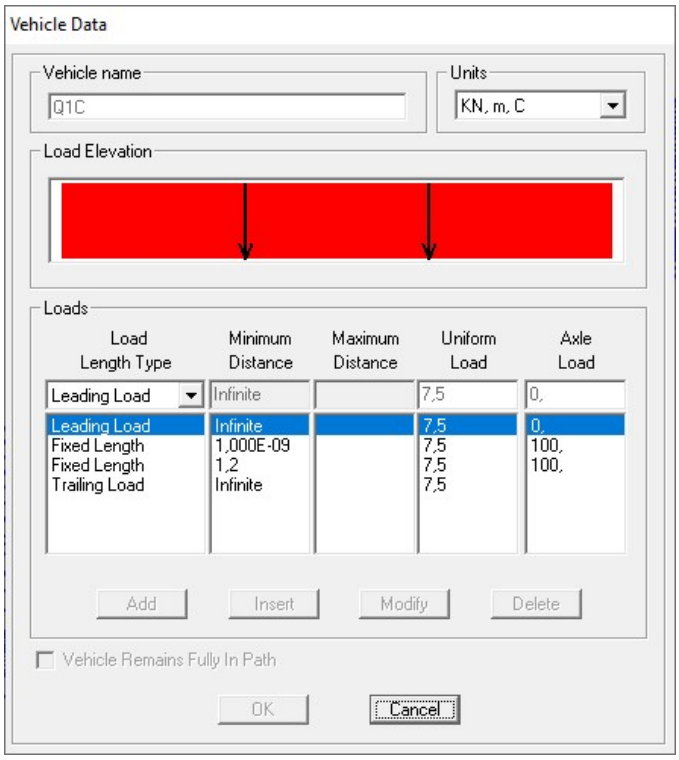
a) Carichi $Q_{1a}$ (concentrato) e $q_{1a}$ (distribuito) → Stesa 1



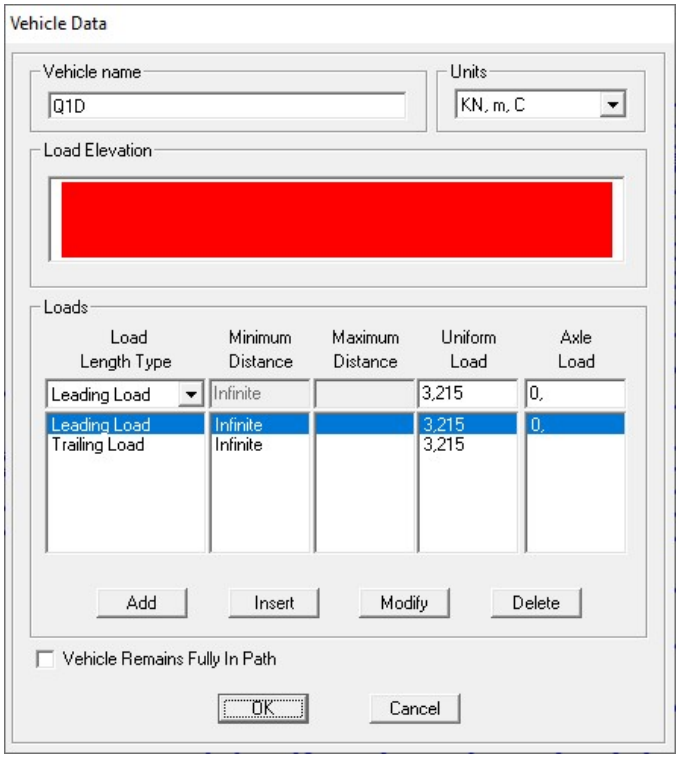

b) Carichi $Q_{1b}$ (concentrato) e $q_{1b}$ (distribuito) → Stesa 2



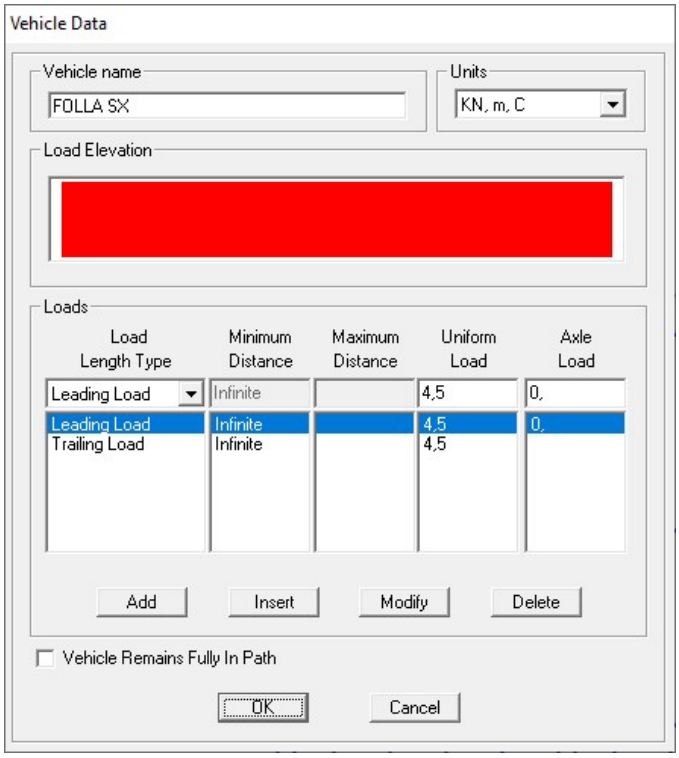
c) Carichi $Q_{1c}$ (concentrato) e $q_{1c}$ (distribuito) → Stesa 3



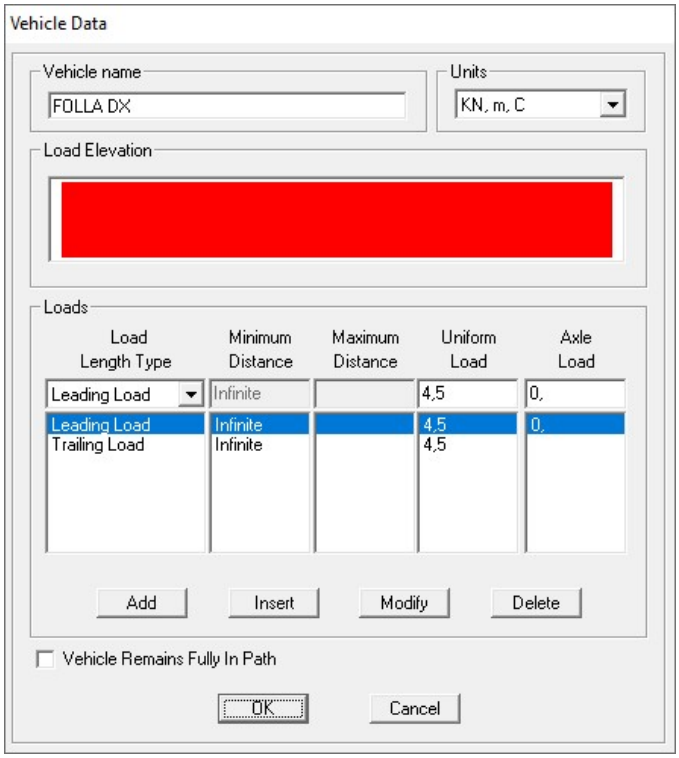

d) Carico $q_{1d}$ (distribuito su carreggiata rimanente) → Stesa 4



e) Folla compatta marciapiede sinistro → Stesa 5

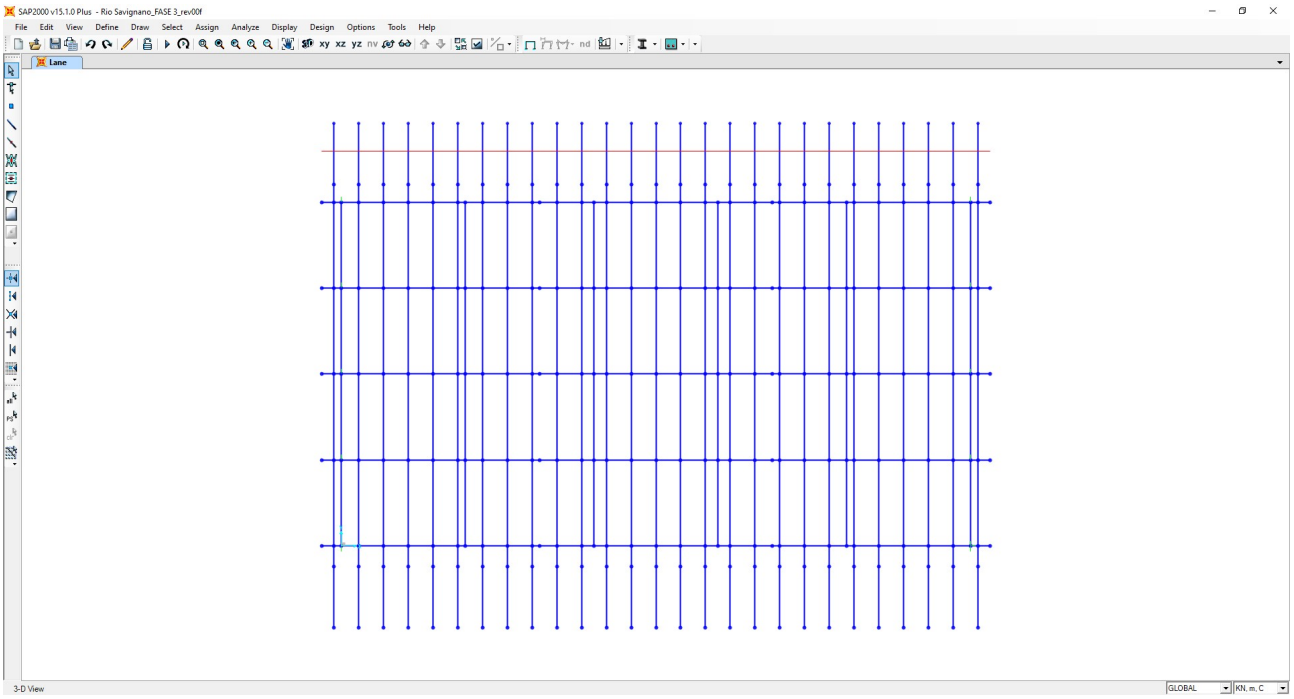



f) Folla compatta marciapiede destro → Stesa 6

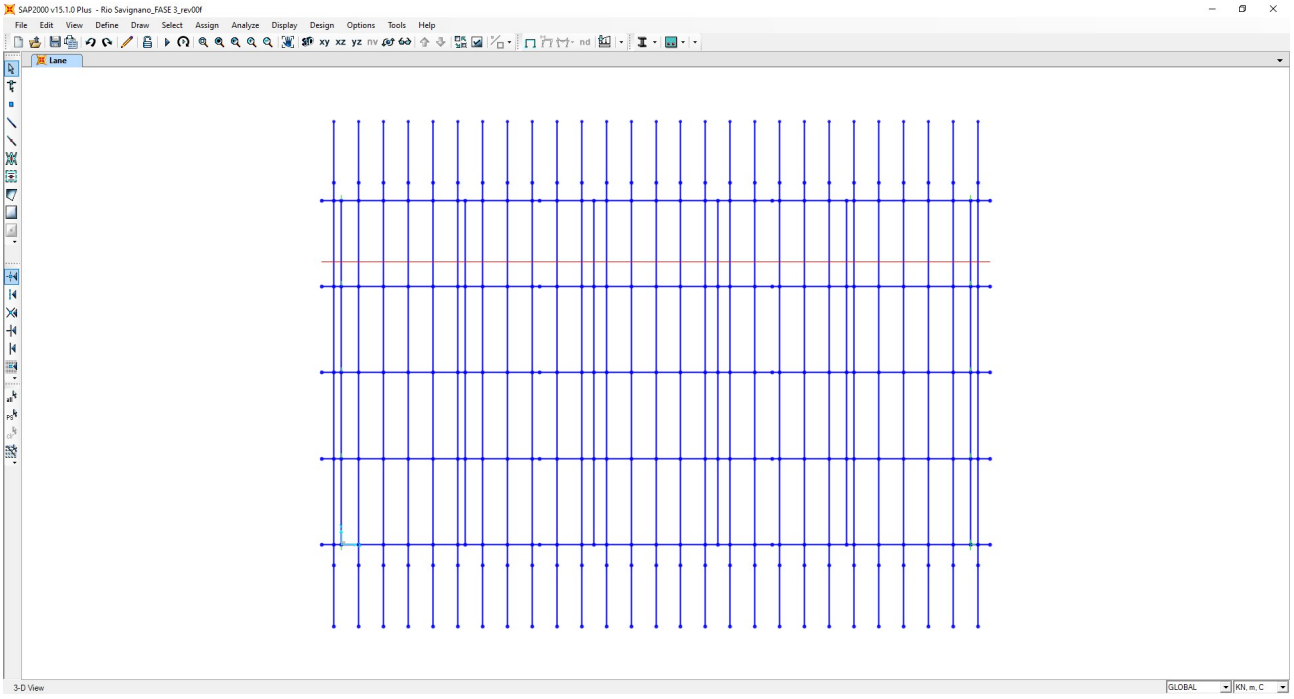


Di seguito è evidenziato il posizionamento dei singoli "path" (assi delle corsie di carico) sull'impalcato sul quale sono stati fatti "viaggiare" i singoli carichi mobili:

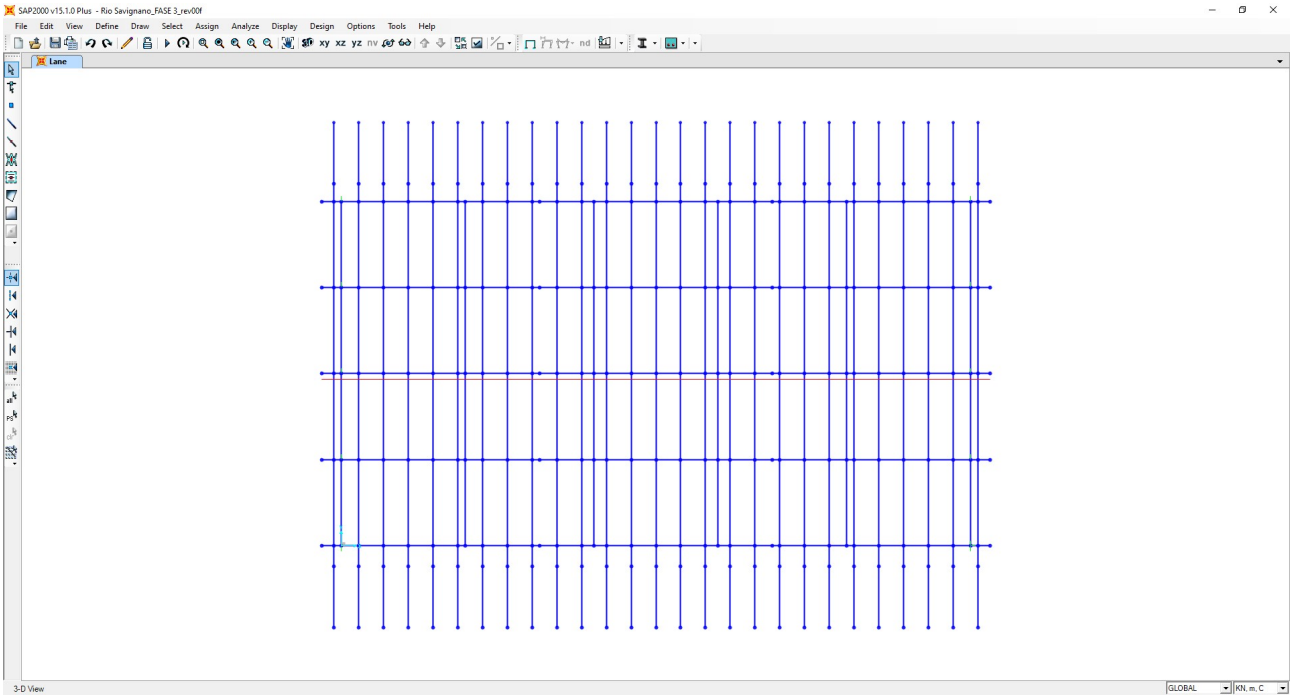
a) Path 1 → Folla SX



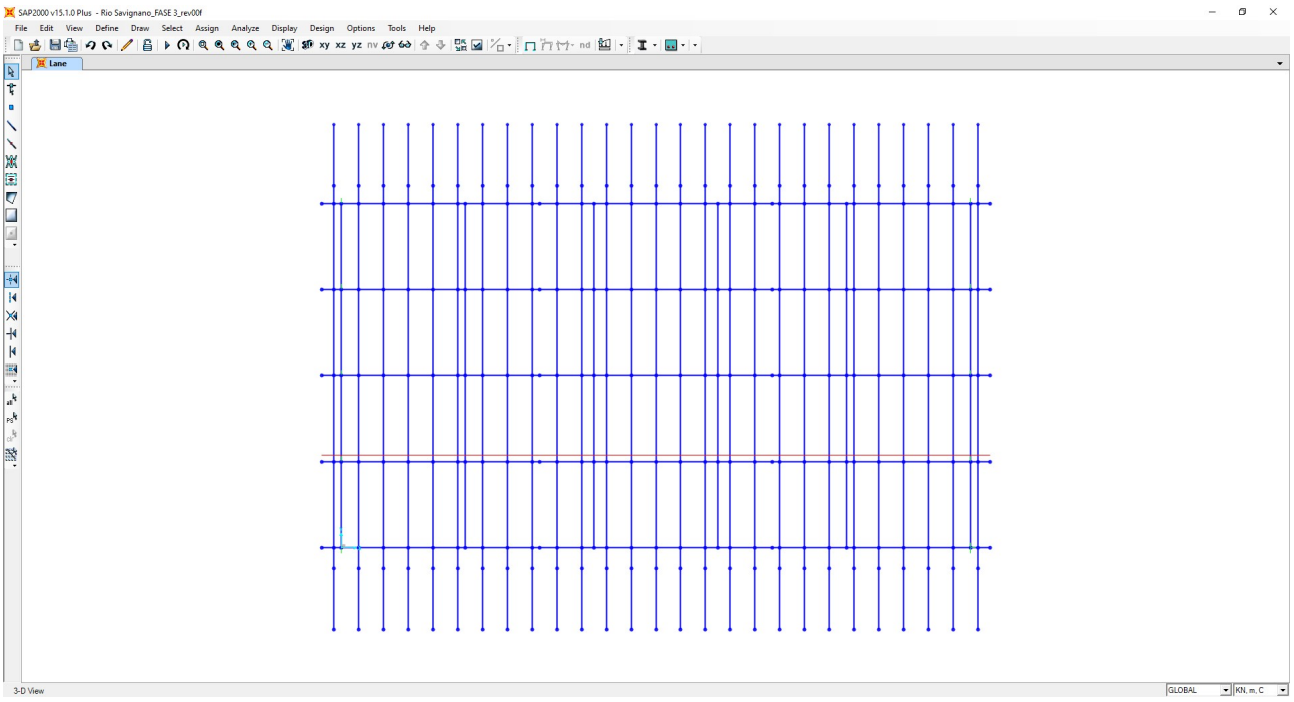

b) Path 2 → Carico $q_{1d}$ (distribuito su carreggiata rimanente)



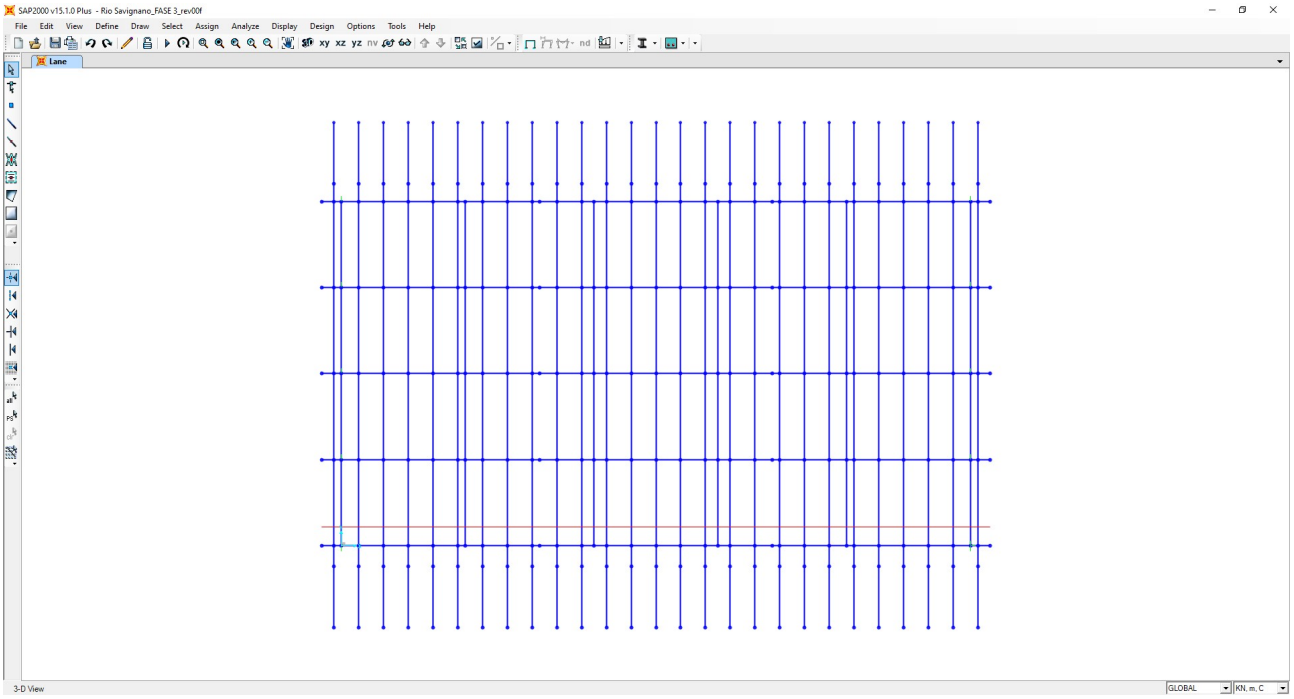
c) Path 3 → Carichi $Q_{1c}$ (concentrato) e $q_{1c}$ (distribuito)



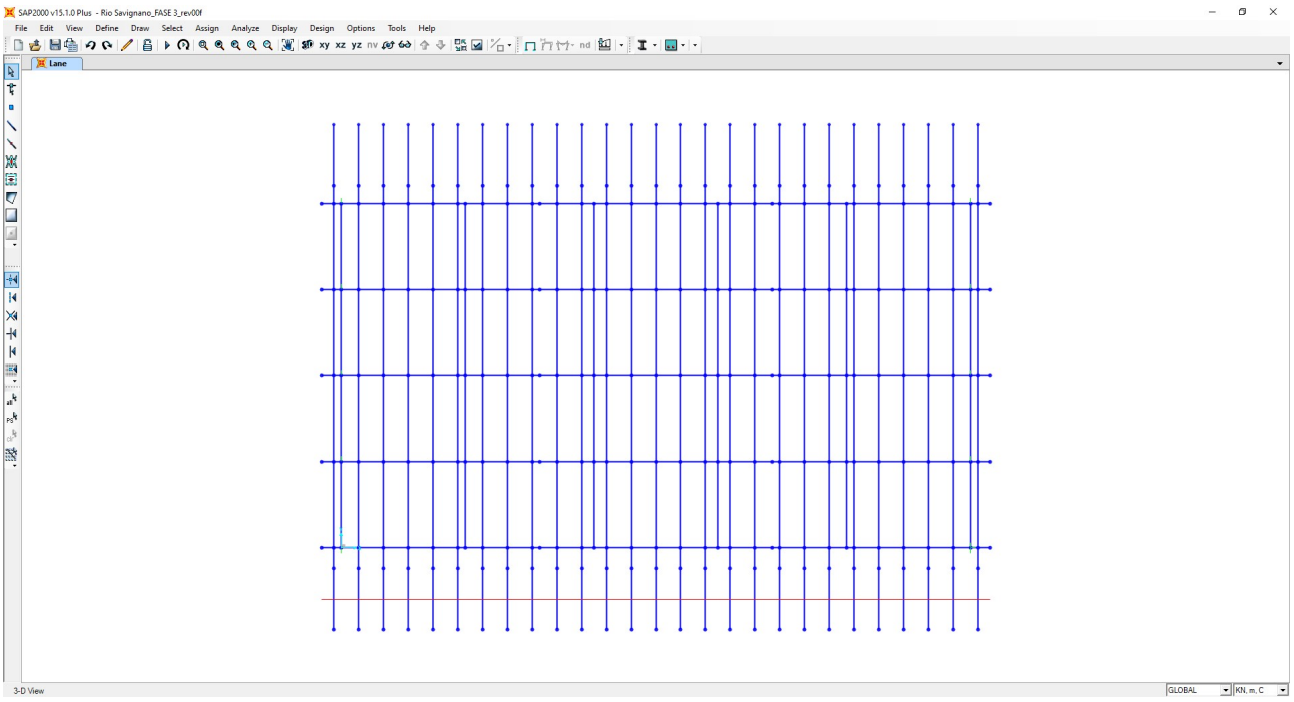

d) Path 4 → Carichi $Q_{1b}$ (concentrato) e $q_{1b}$ (distribuito)



e) Path 5 → Carichi $Q_{1a}$ (concentrato) e $q_{1a}$ (distribuito)



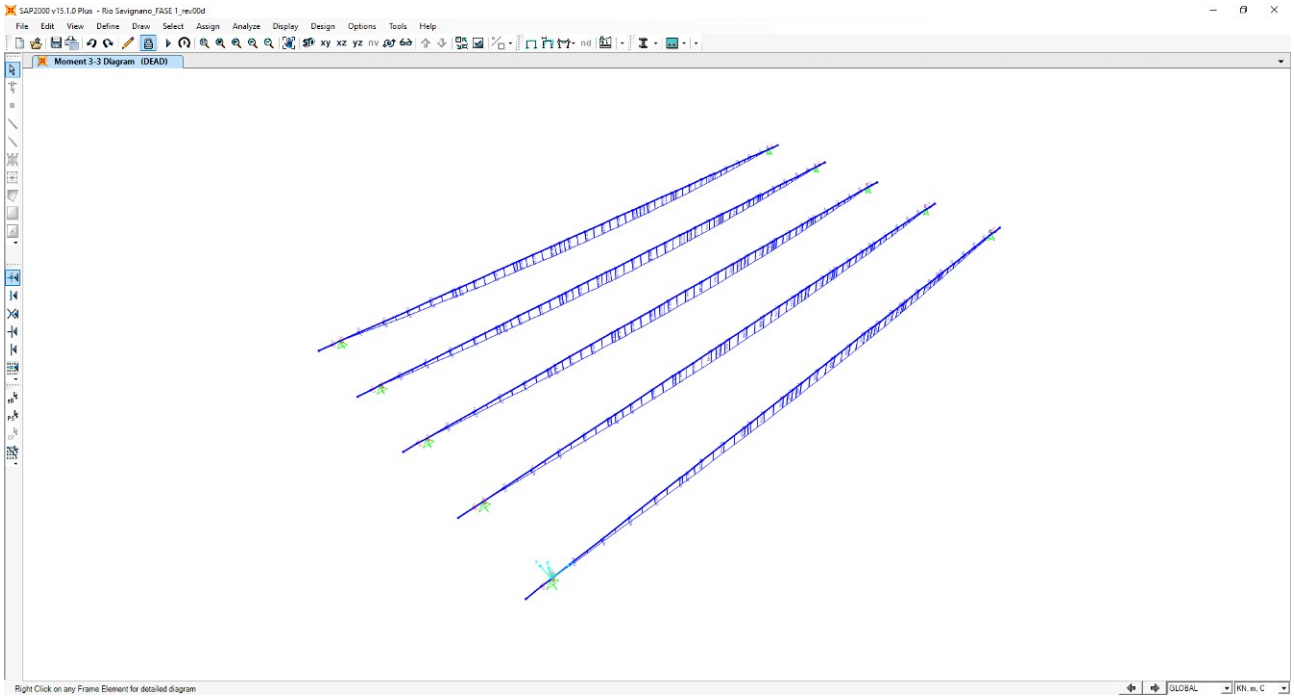

f) Path 6 → Folla DX



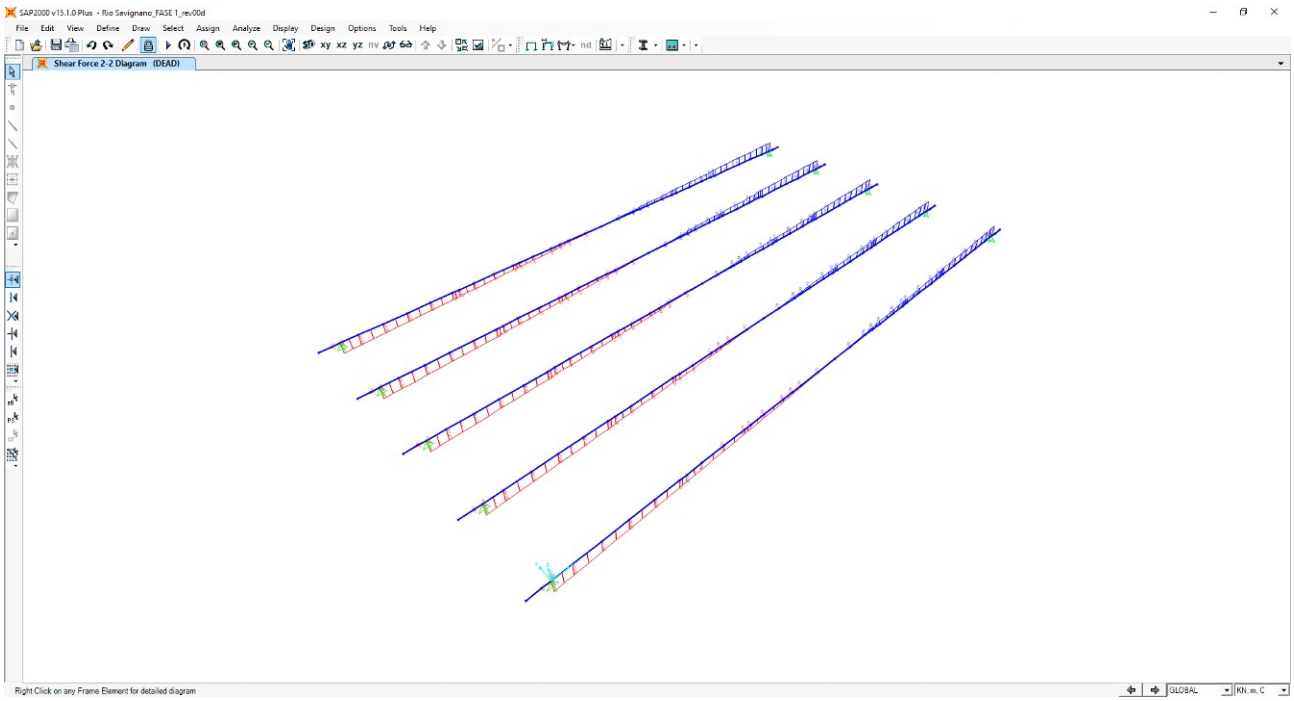
## 11.6 VALUTAZIONE DELLA AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE SULLE TRAVI PRINCIPALI - OUTPUT GRAFICO

### 11.6.1 FASE 1 - PESO PROPRIO CARPENTERIA METALLICA

#### 11.6.1.1 Momento flettente

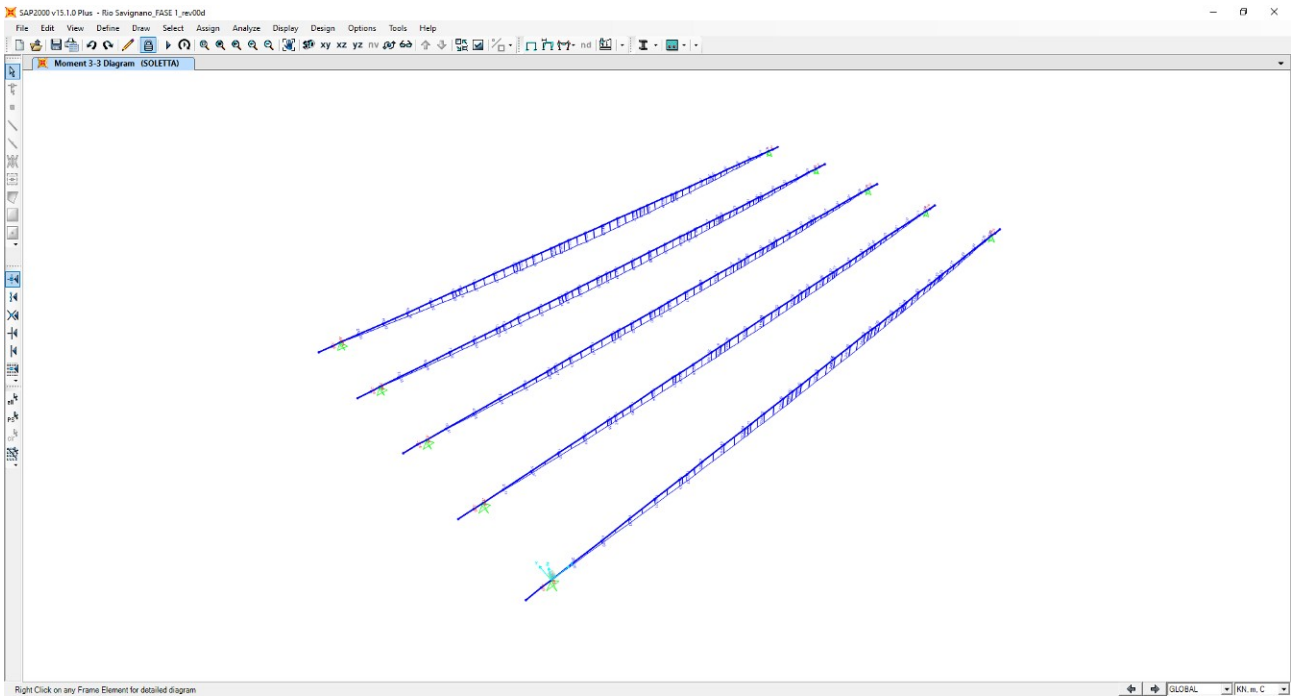



#### 11.6.1.2 Azione tagliante

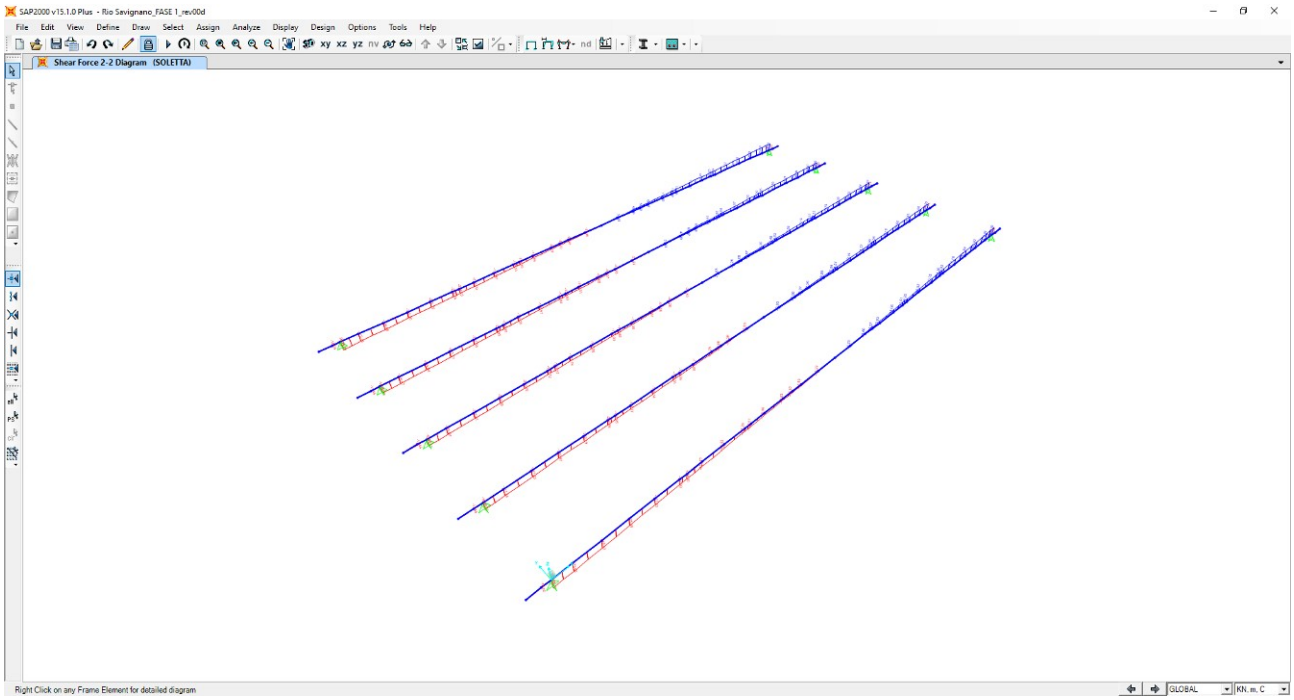


## 11.6.2 FASE 1 - PESO PROPRIO SOLETTA

### 11.6.2.1 Momento flettente

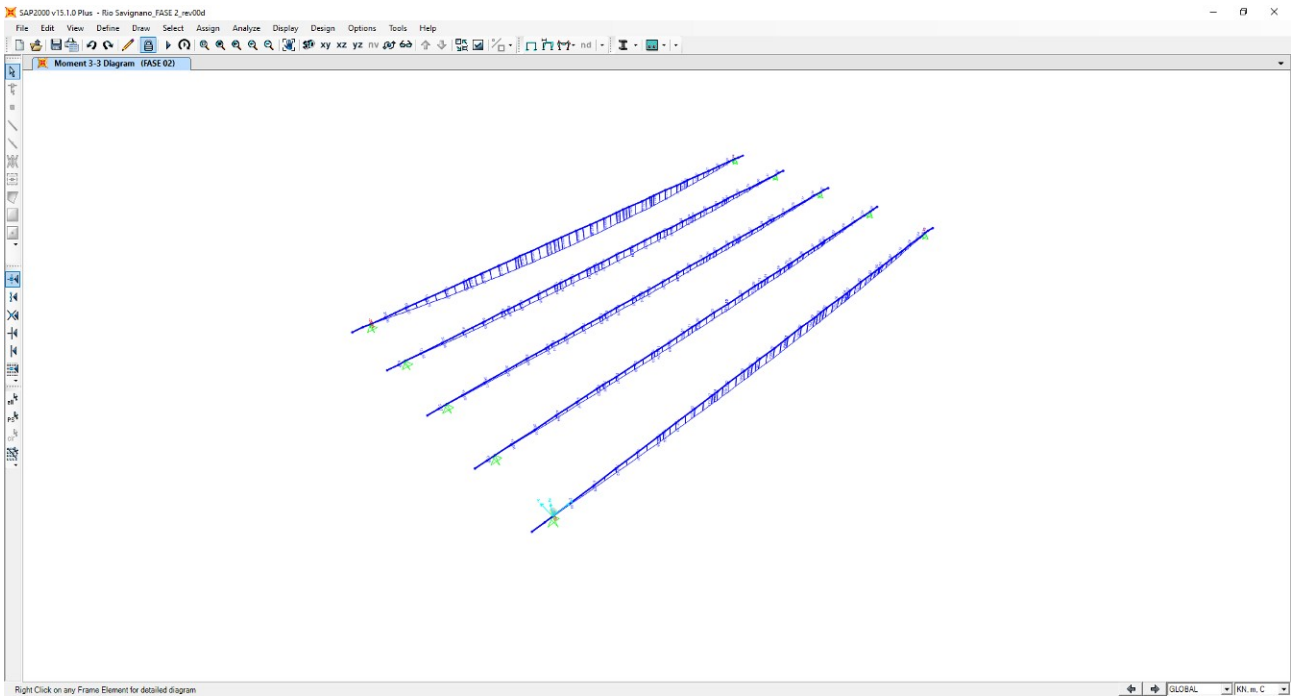



### 11.6.2.2 Azione tagliante

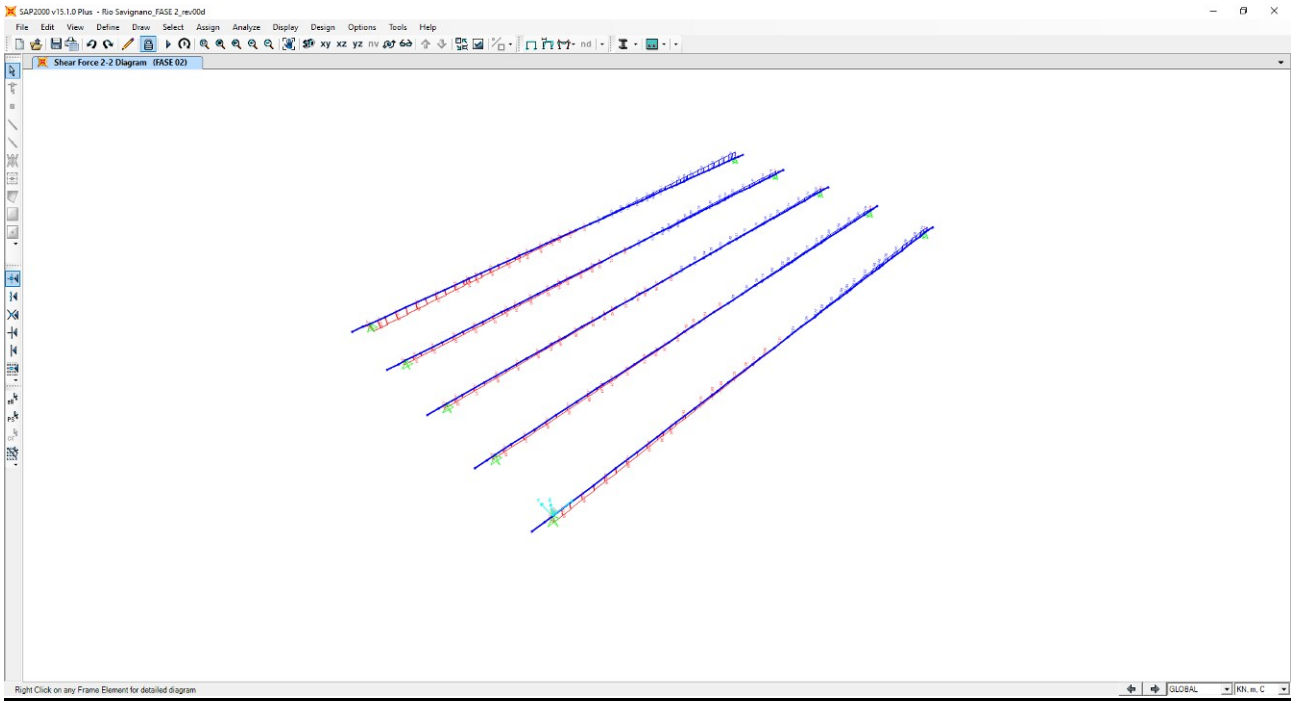


## 11.6.3 FASE 2 - SOVRACCARICHI PERMANENTI

### 11.6.3.1 Momento flettente

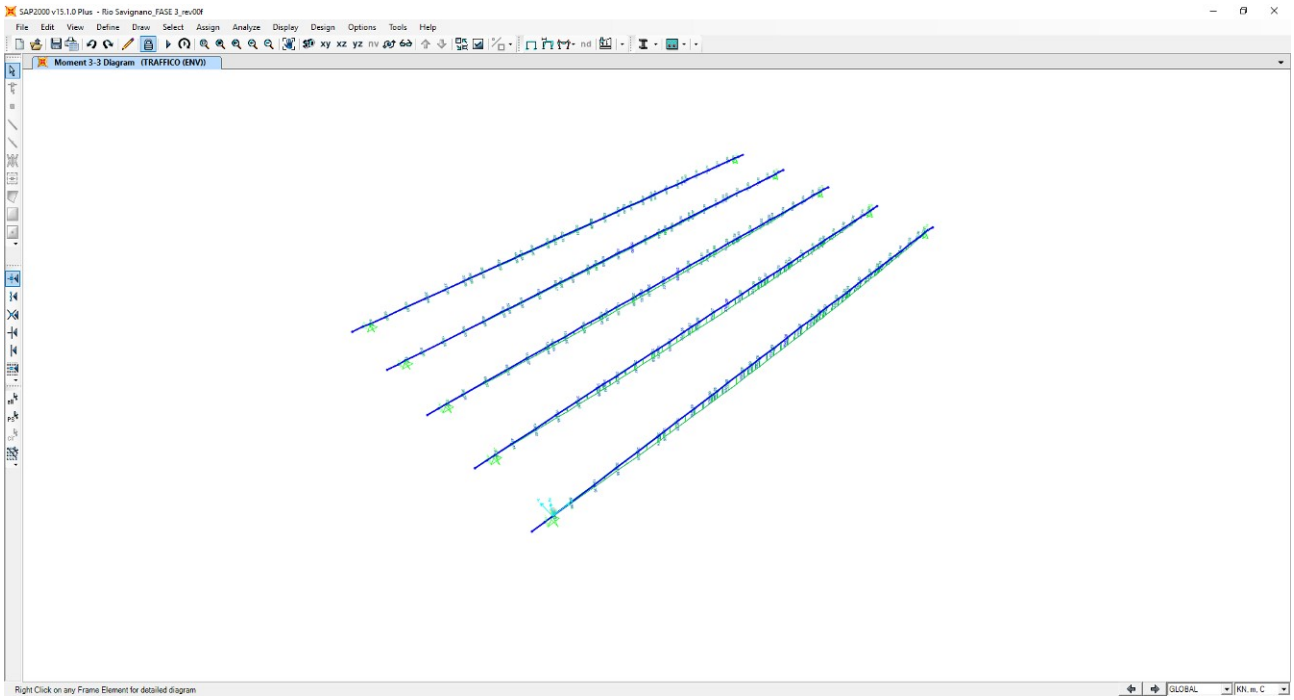



### 11.6.3.2 Azione tagliante

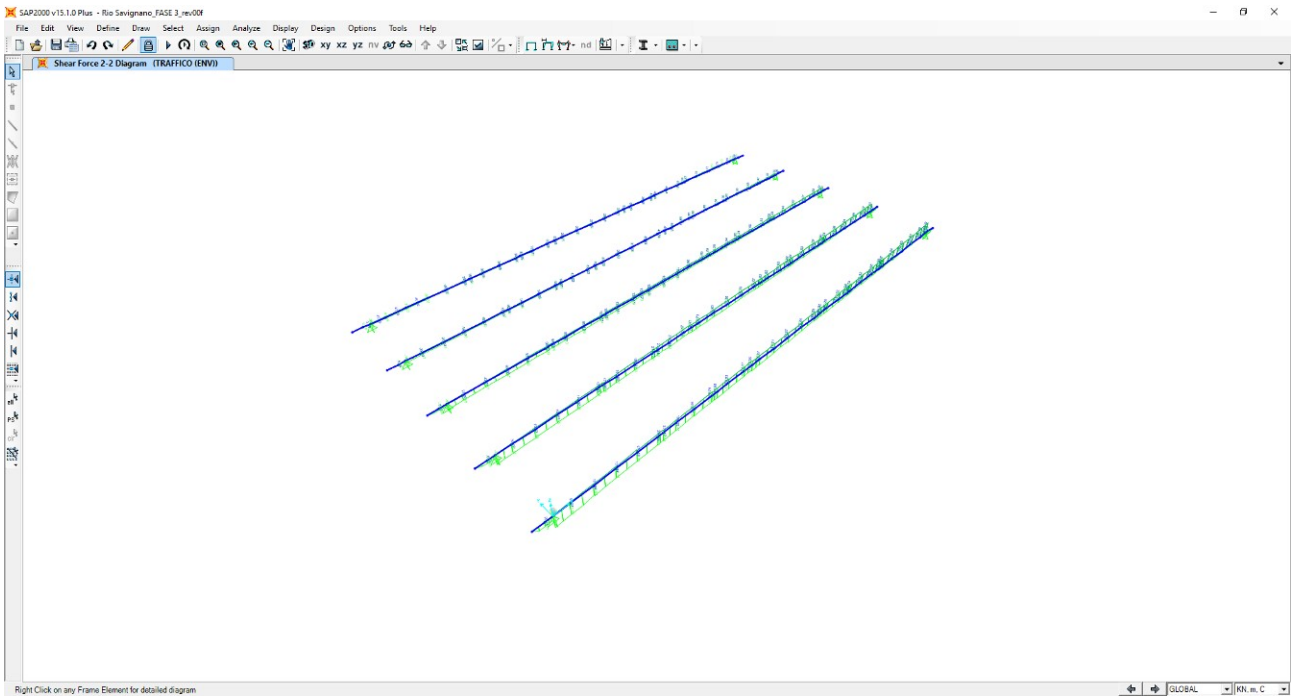


## 11.6.4 FASE 3 - INVILUPPO CARICHI DA TRAFFICO

### 11.6.4.1 Momento flettente

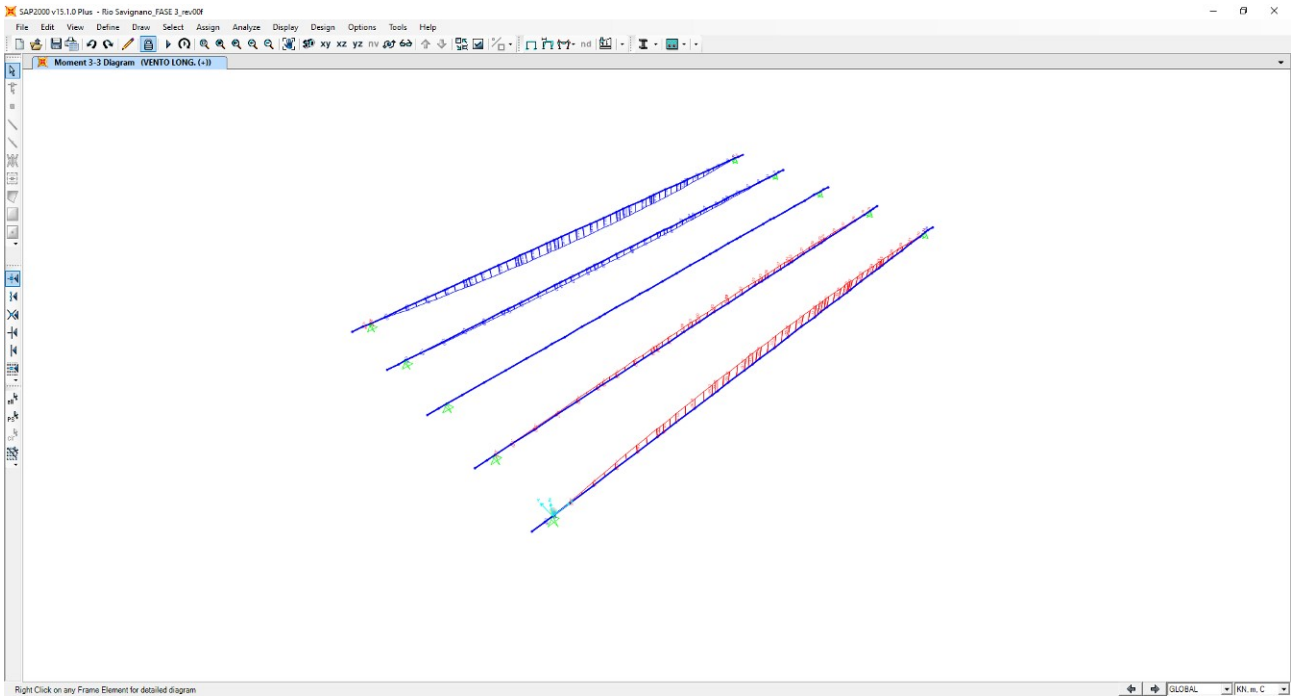



### 11.6.4.2 Azione tagliante

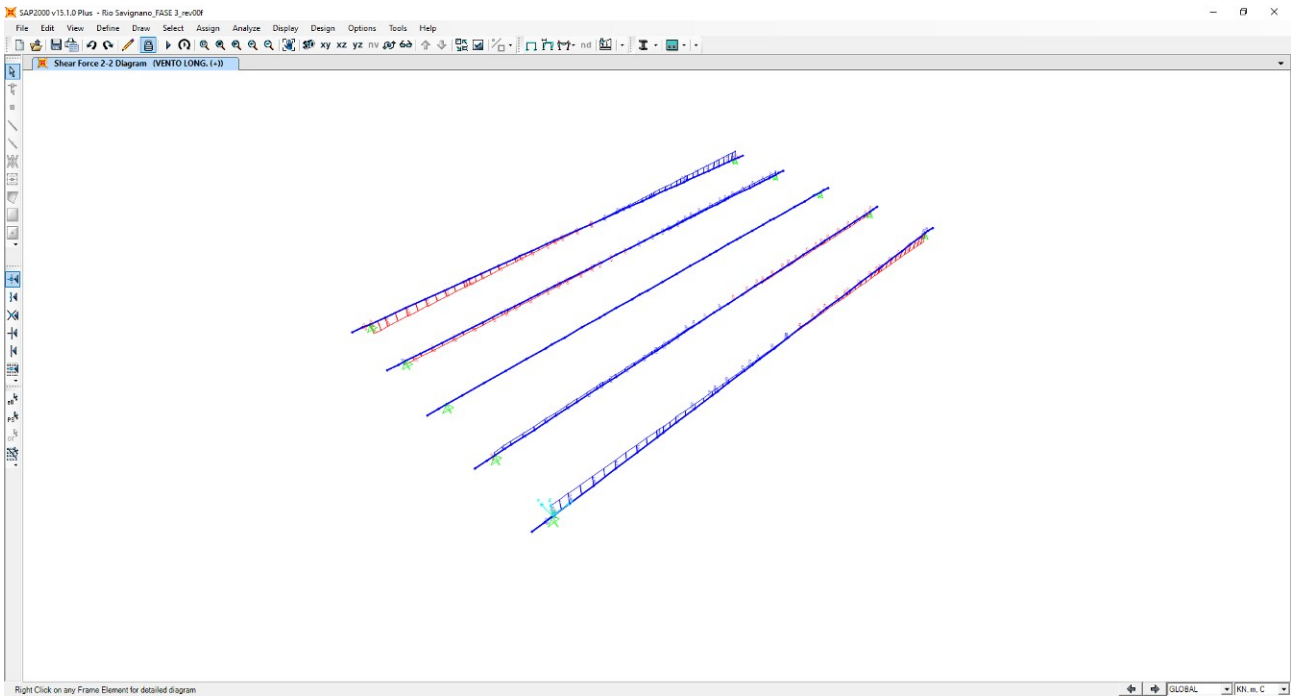


## 11.6.5 FASE 3 – AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO (+) (EFFETTO "TIRA – SPINGI" SULLE TRAVI PRINCIPALI)

### 11.6.5.1 Momento flettente

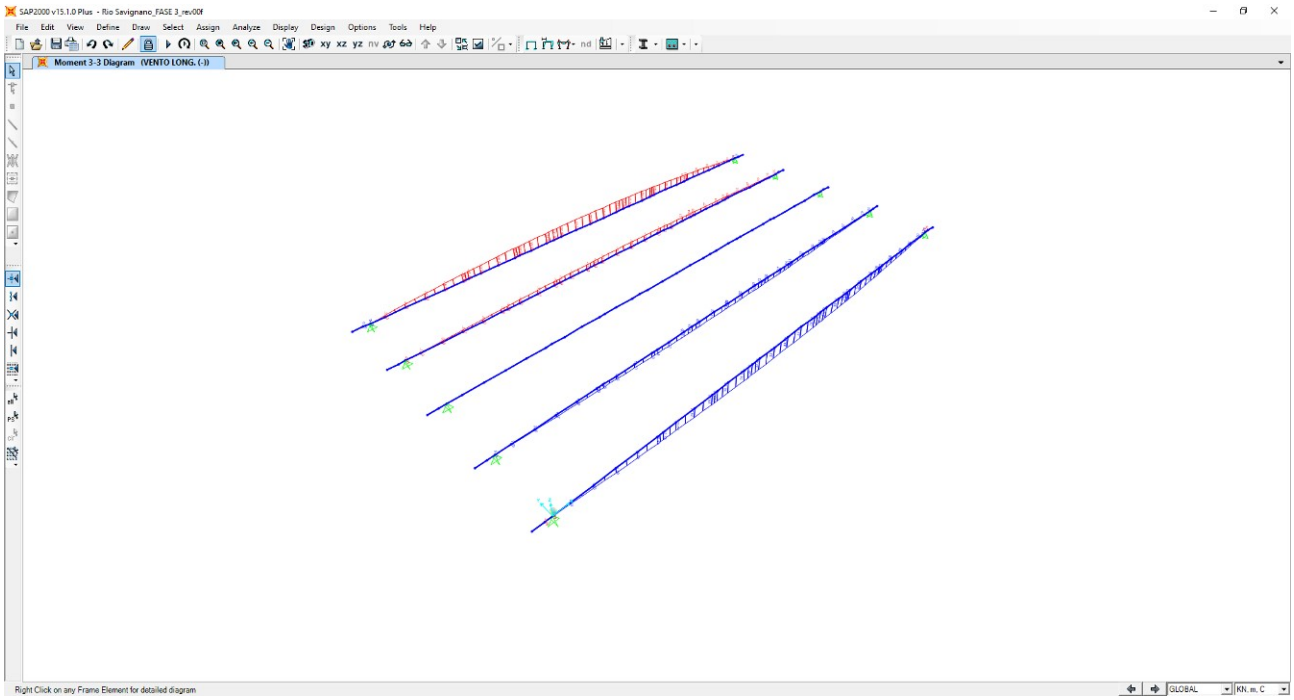



### 11.6.5.2 Azione tagliante

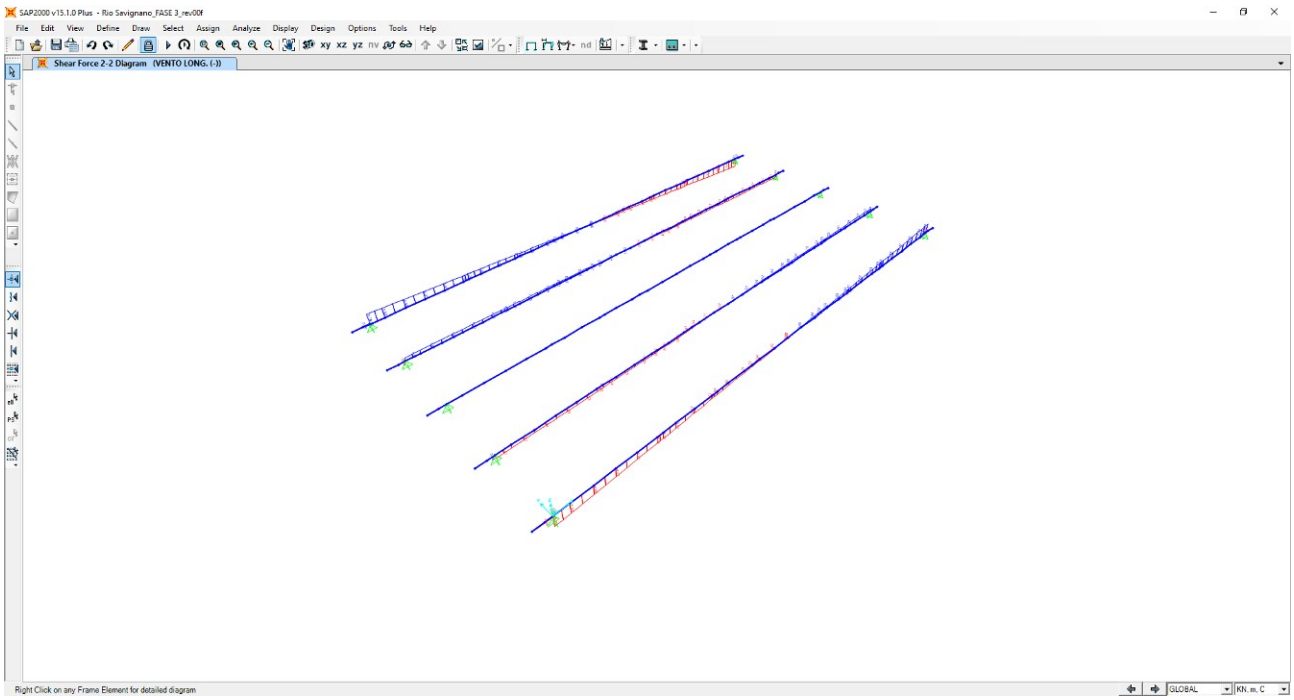


## 11.6.6 FASE 3 – AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO (-) (EFFETTO "TIRA – SPINGI" SULLE TRAVI PRINCIPALI)

### 11.6.6.1 Momento flettente




### 11.6.6.2 Azione tagliante

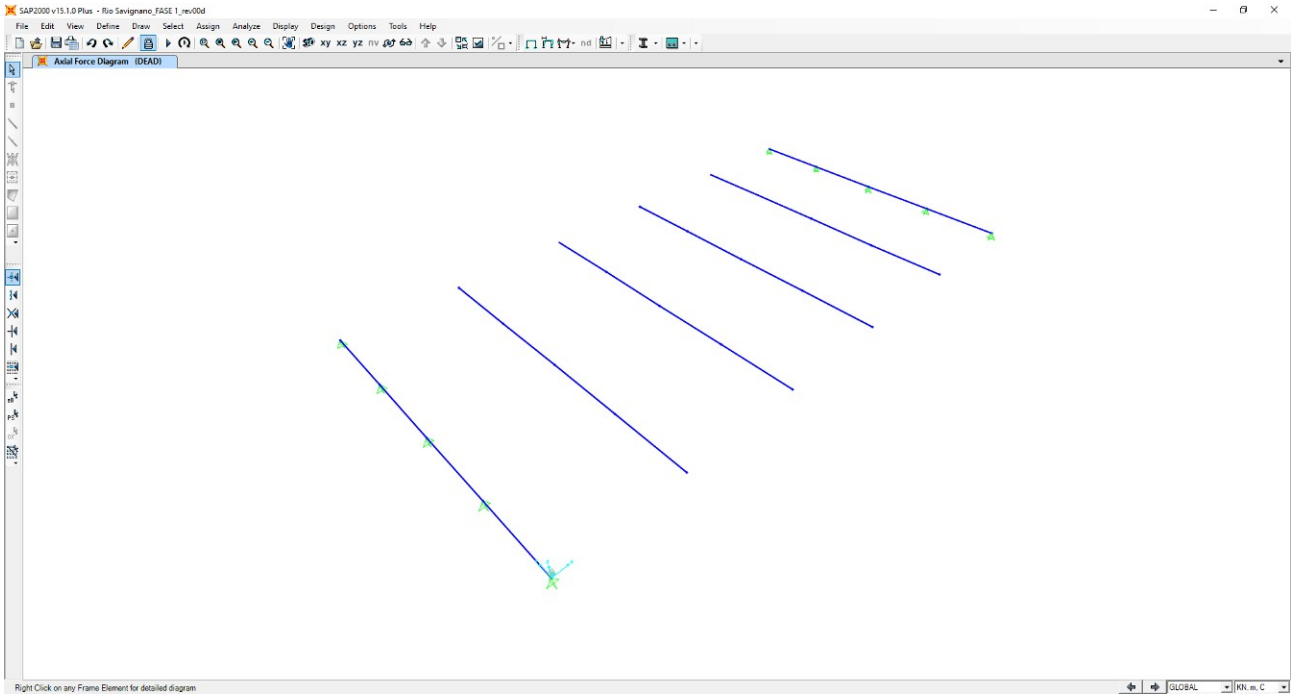



## 11.6.7

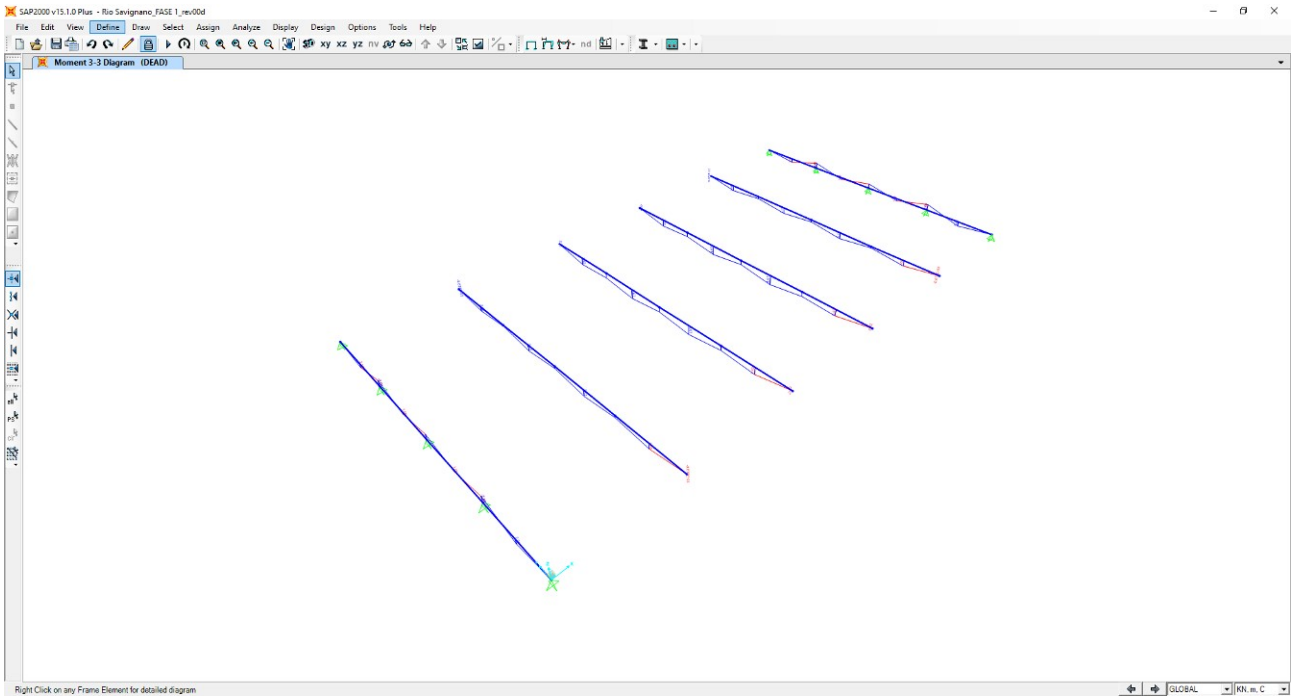
## VALUTAZIONE DELLA AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE SUI TRASVERSI- OUTPUT GRAFICO

### 11.6.8 FASE 1 - PESO PROPRIO CARPENTERIA METALLICA

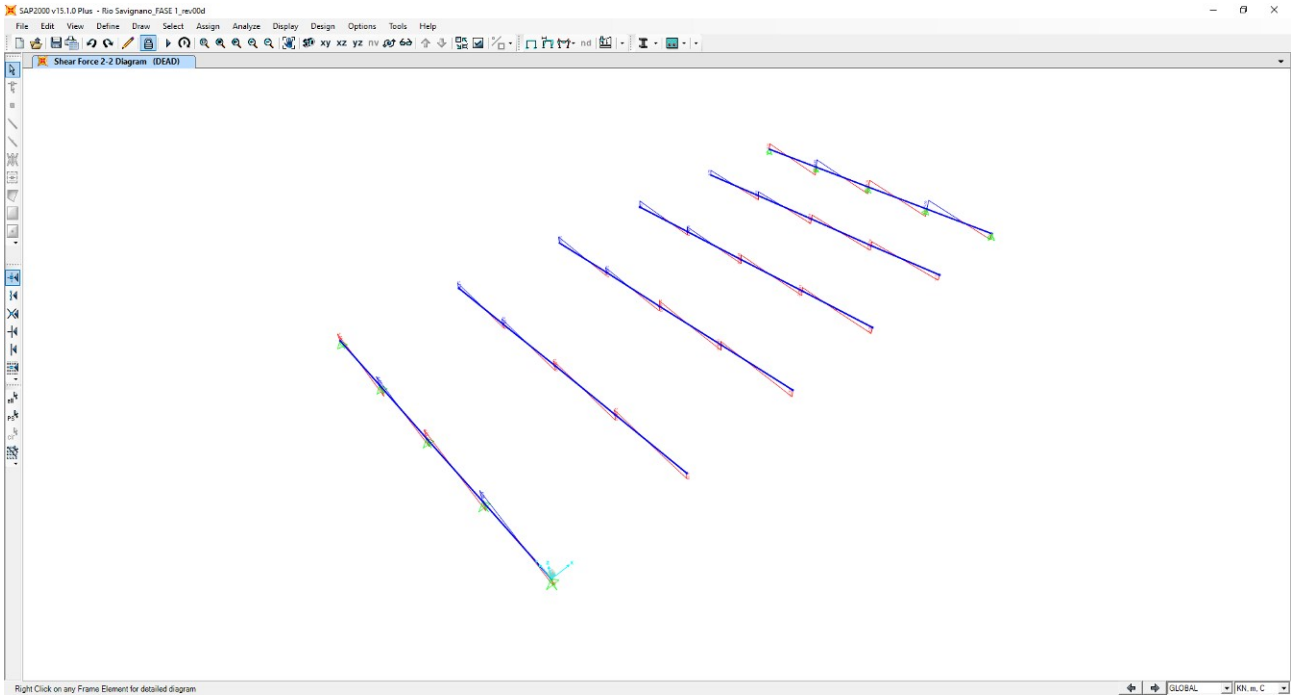
#### 11.6.8.1 Azione normale




#### 11.6.8.2 Momento flettente

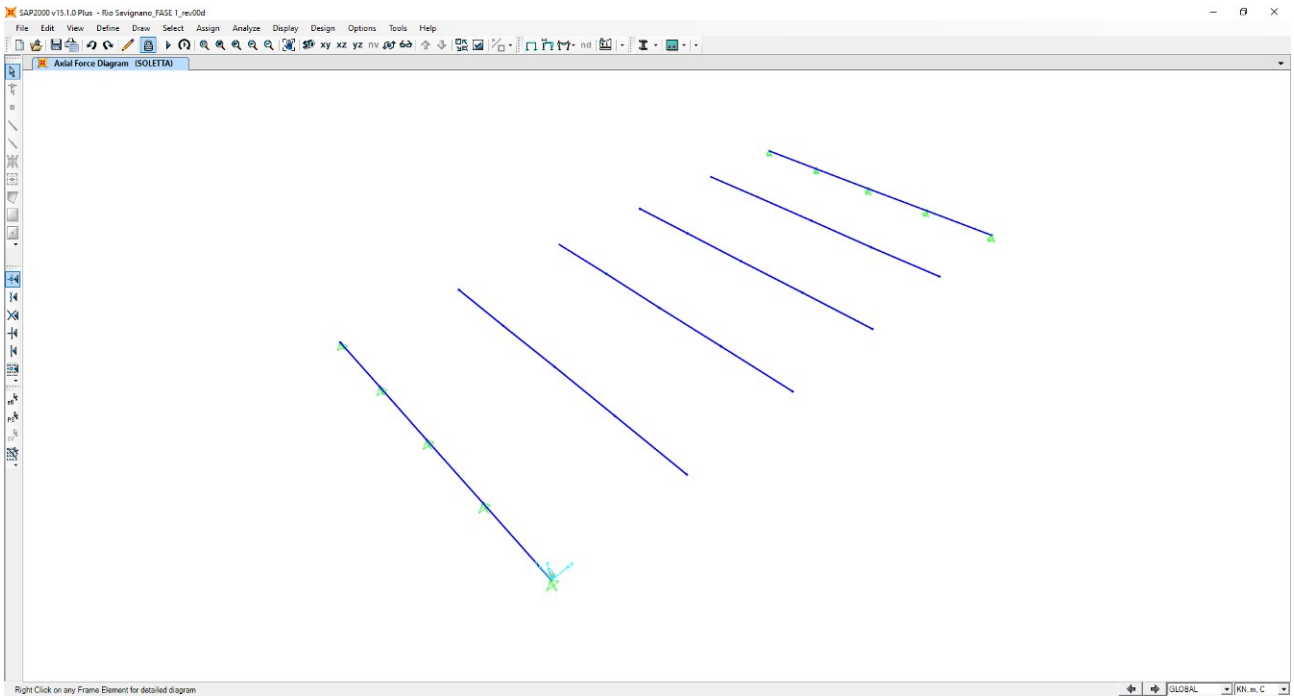


### 11.6.8.3 Azione tagliante

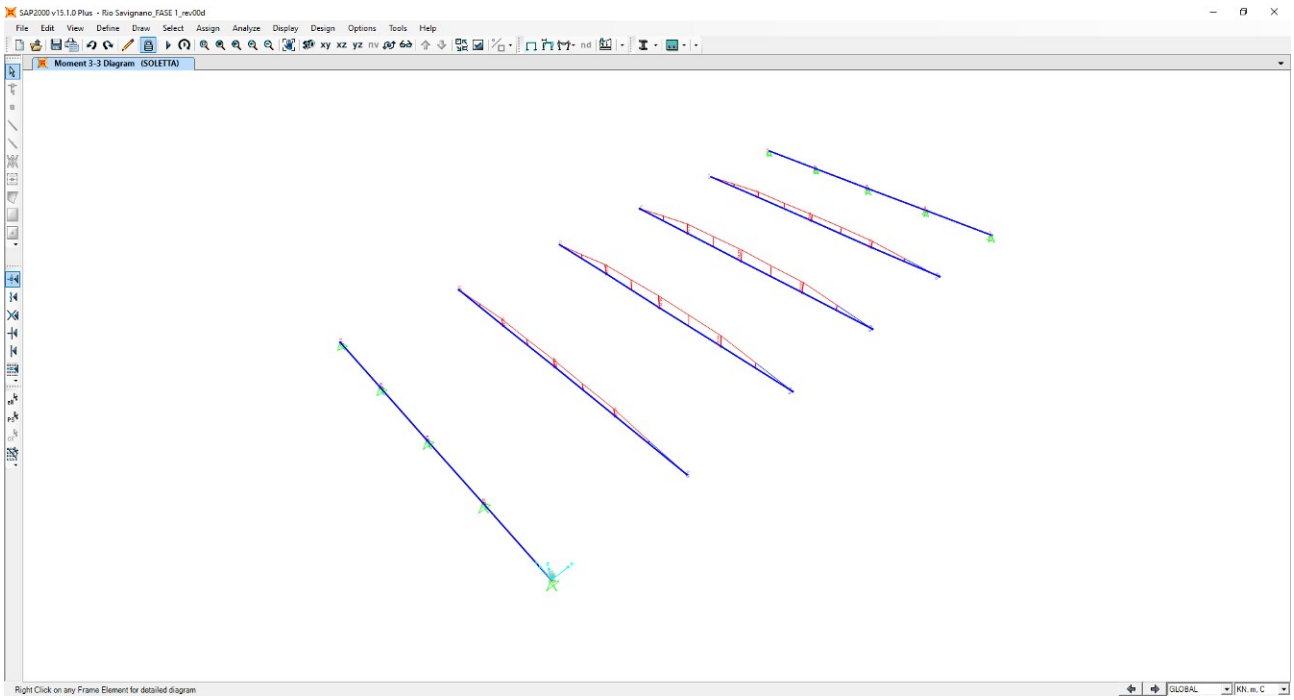


## 11.6.9 FASE 1 - PESO PROPRIO SOLETTA

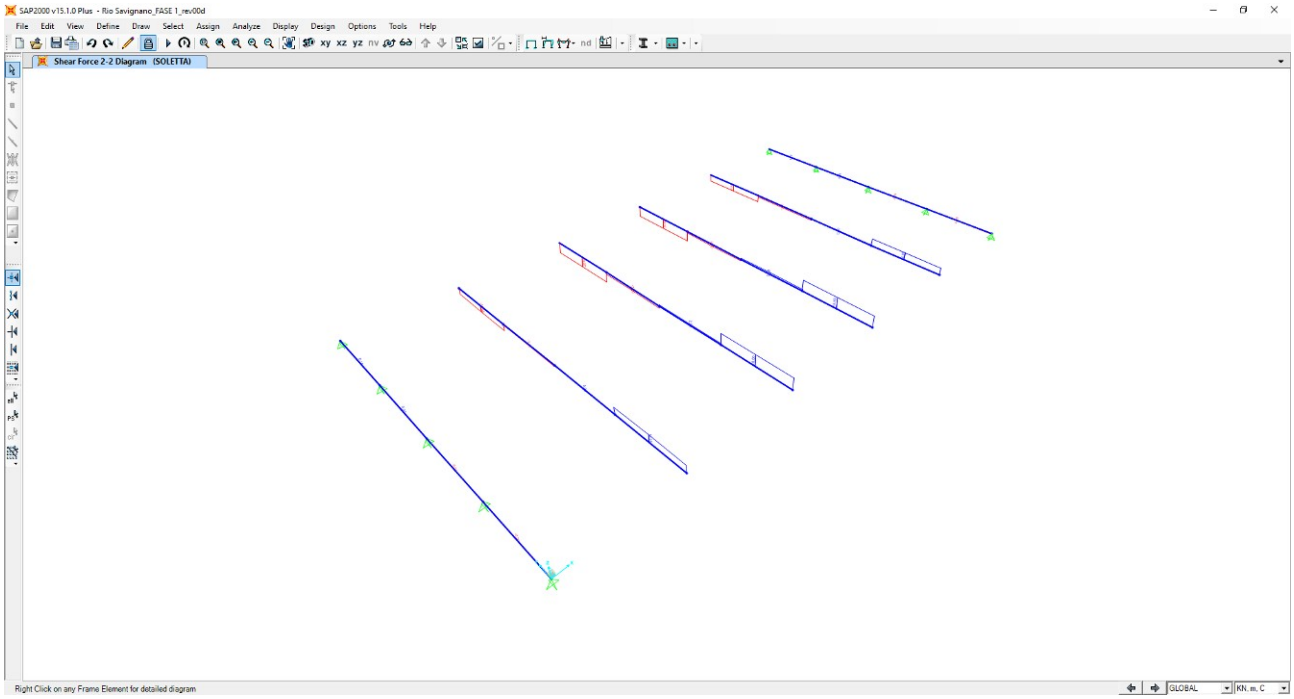
### 11.6.9.1 Azione normale




### 11.6.9.2 Momento flettente

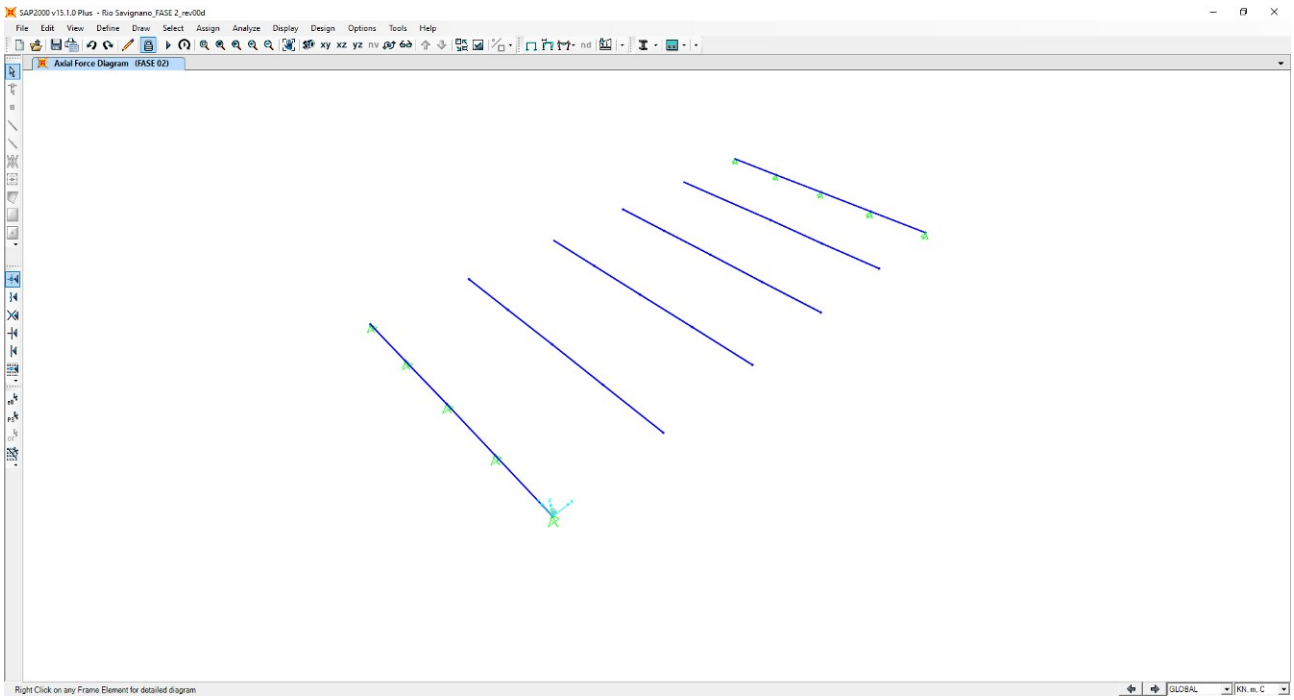


### 11.6.9.3 Azione tagliante

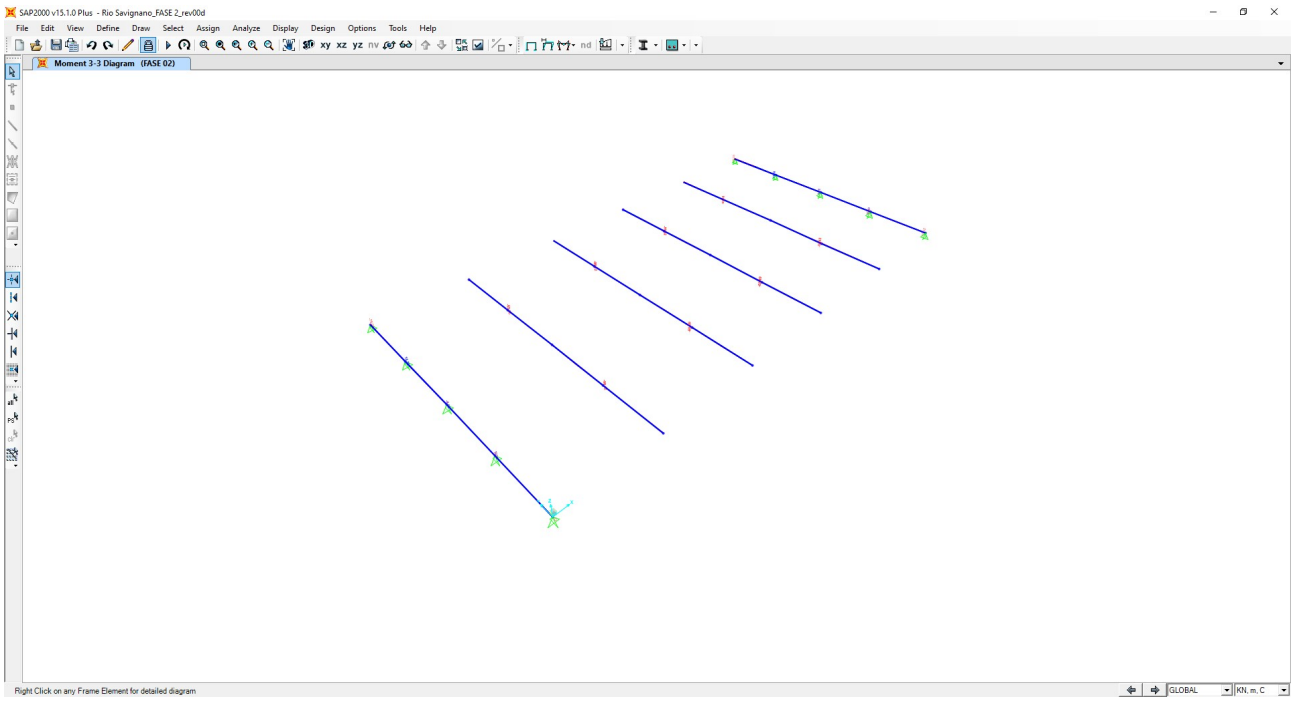


## 11.6.10 FASE 2 - SOVRACCARICHI PERMANENTI

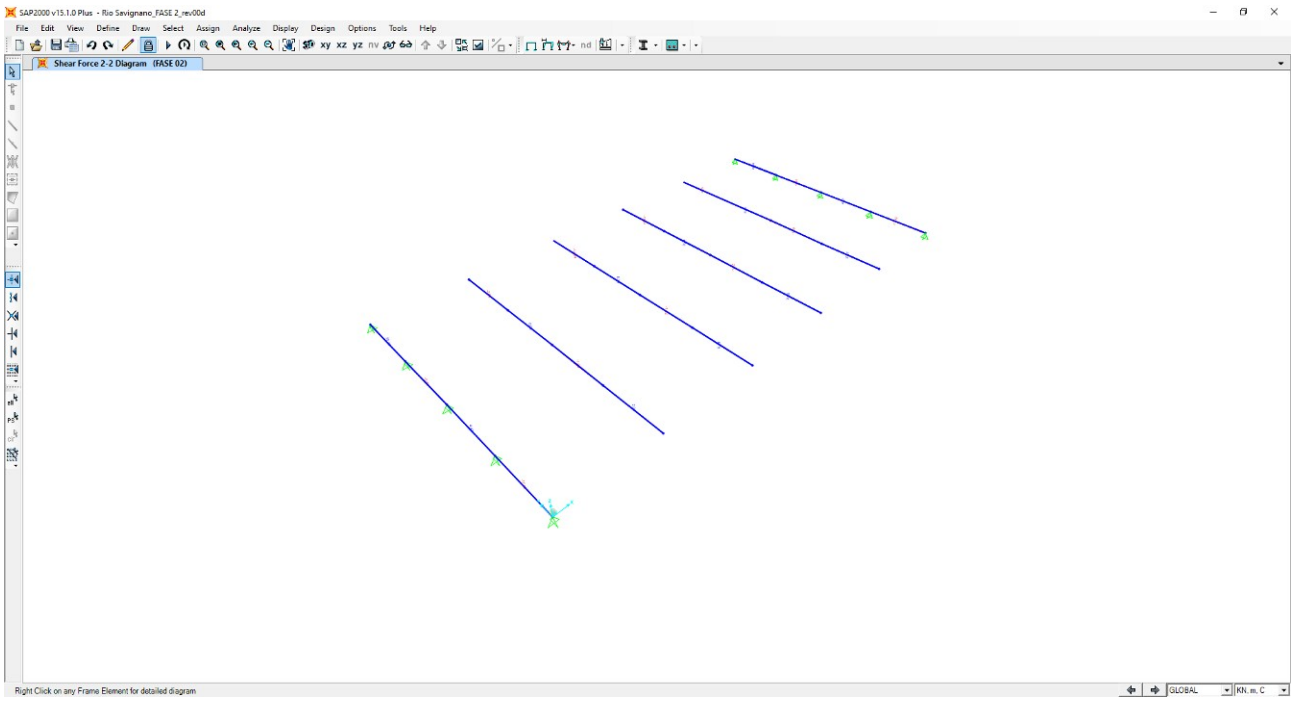
### 11.6.10.1 Azione normale




### 11.6.10.2 Momento flettente

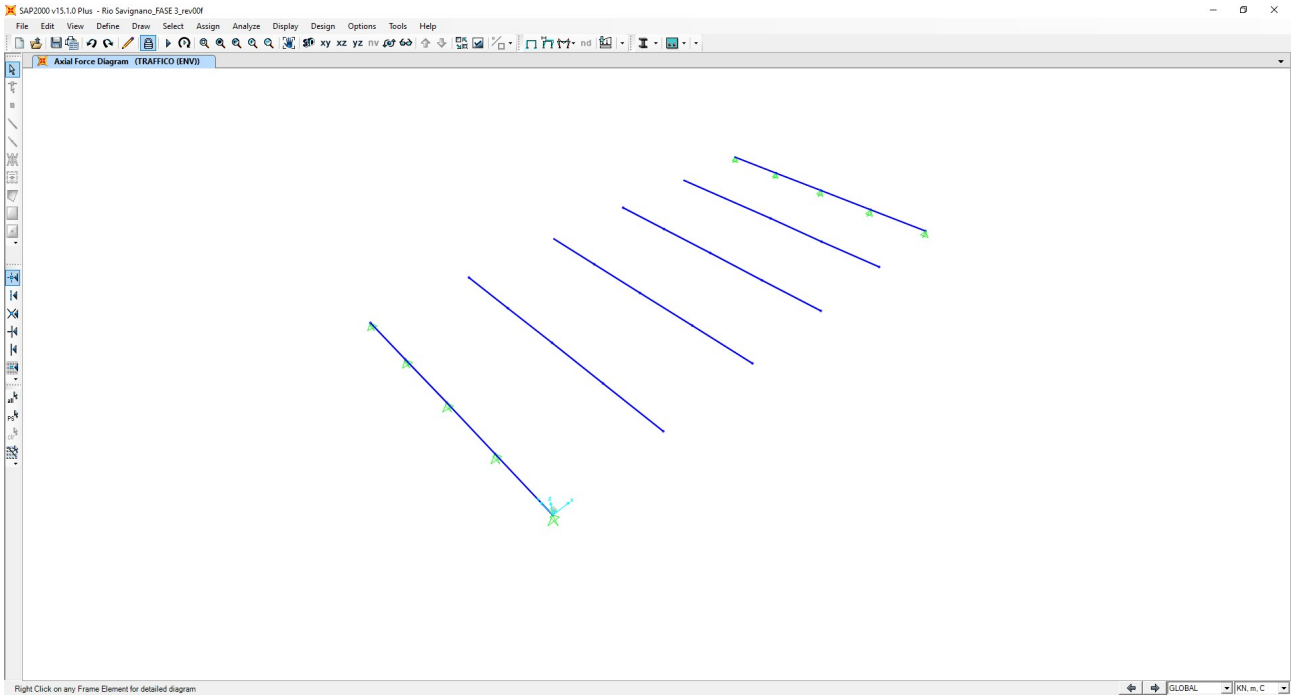


### 11.6.10.3 Azione tagliante

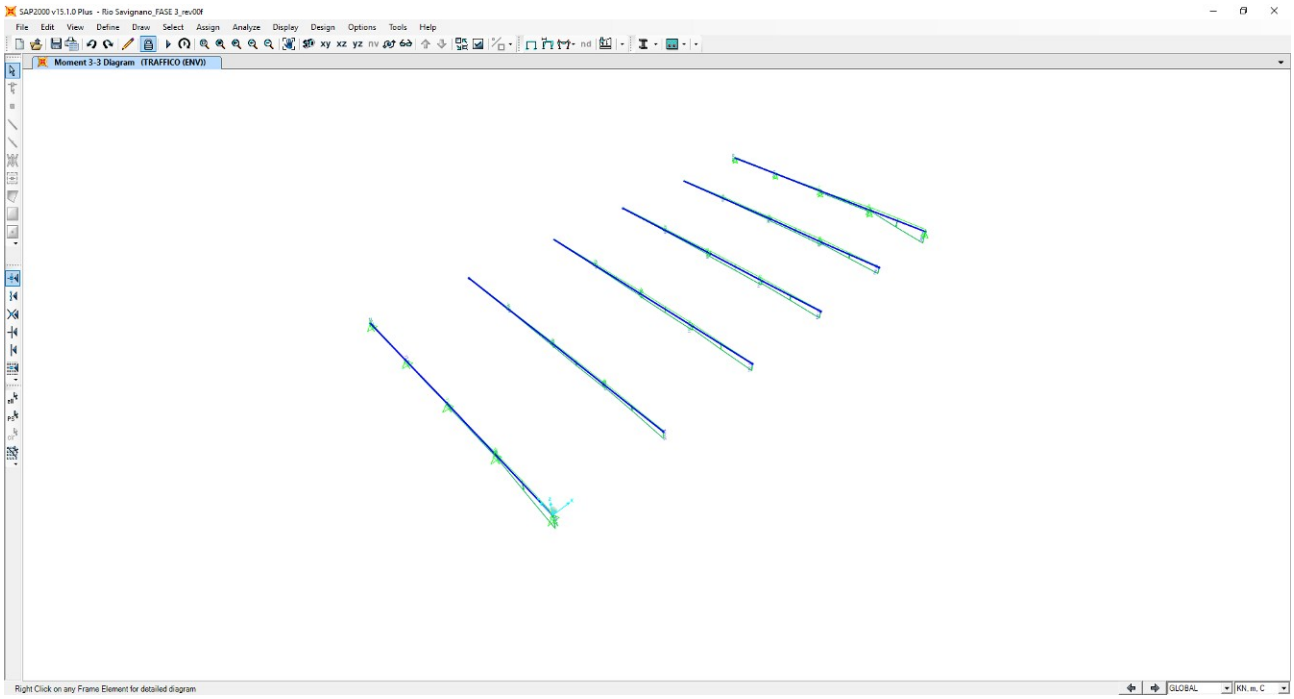


## 11.6.11 FASE 3 - INVILUPPO CARICHI DA TRAFFICO

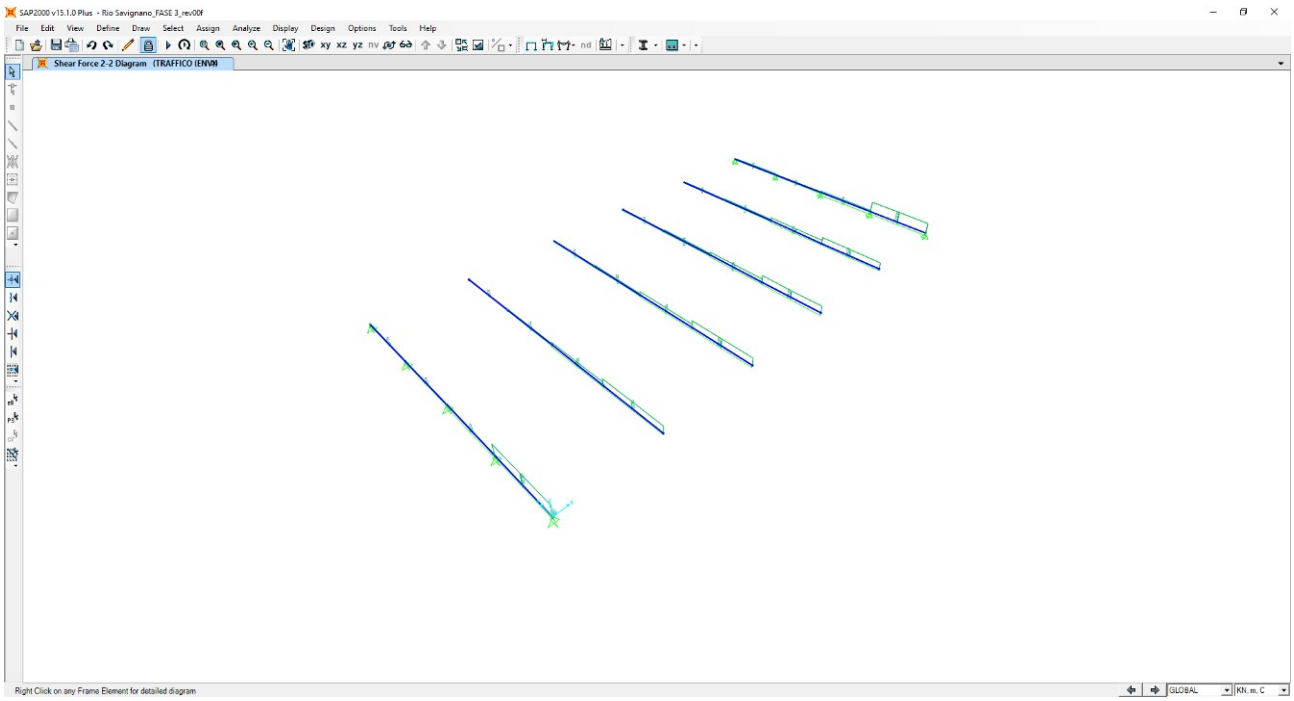
### 11.6.11.1 Azione normale




### 11.6.11.2 Momento flettente

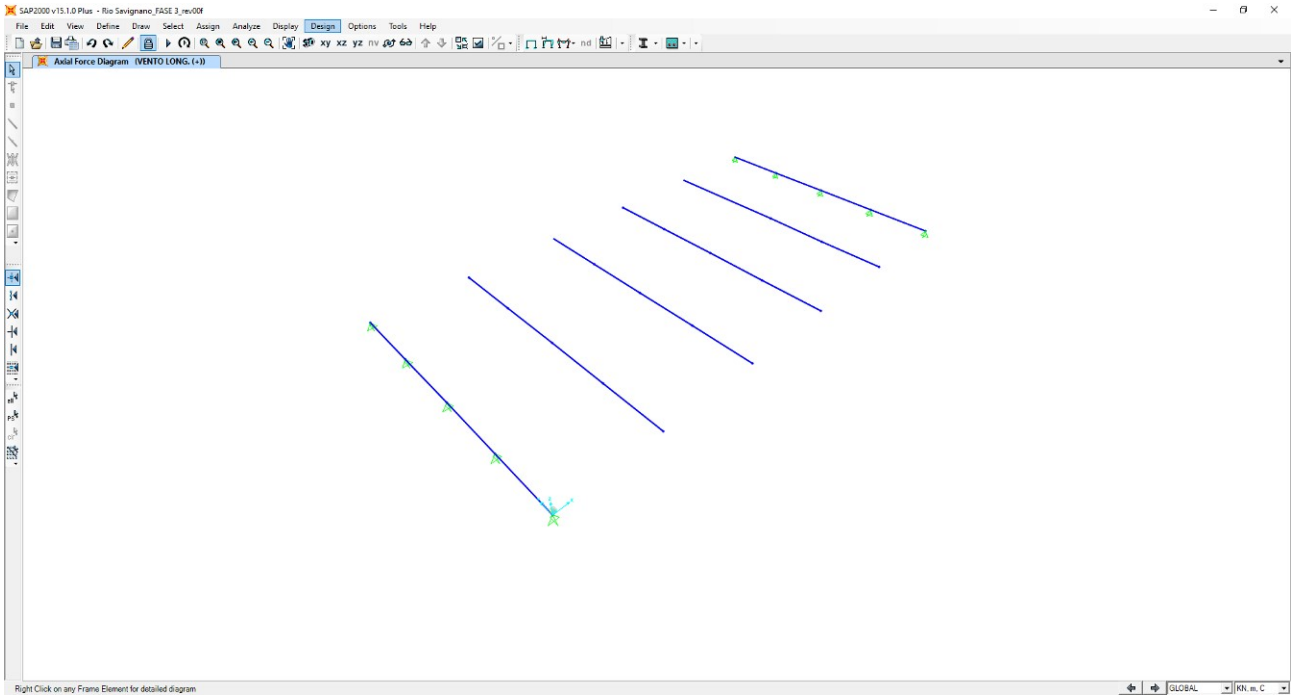


### 11.6.11.3 Azione tagliante

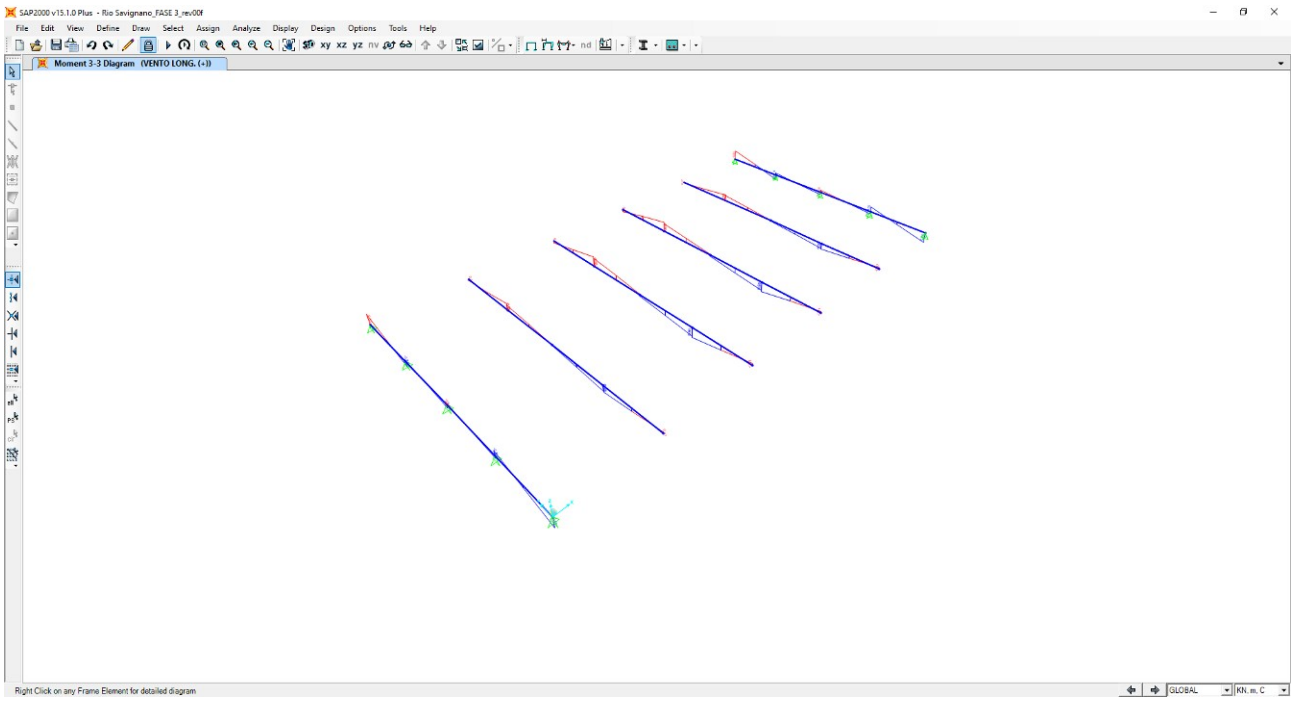


### 11.6.12 FASE 3 - AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO (+) (EFFETTO "TIRA – SPINGI" SULLE TRAVI PRINCIPALI)

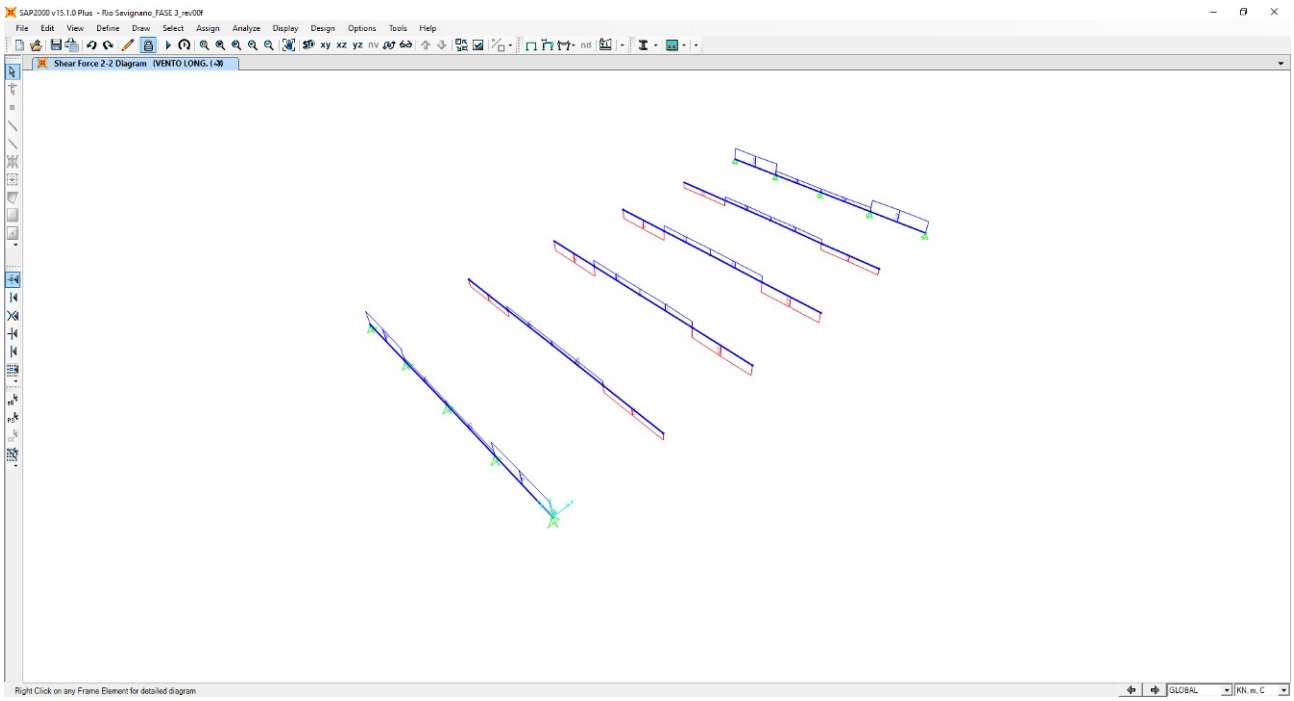
### 11.6.13 AZIONE NORMALE




#### 11.6.13.1 Momento flettente

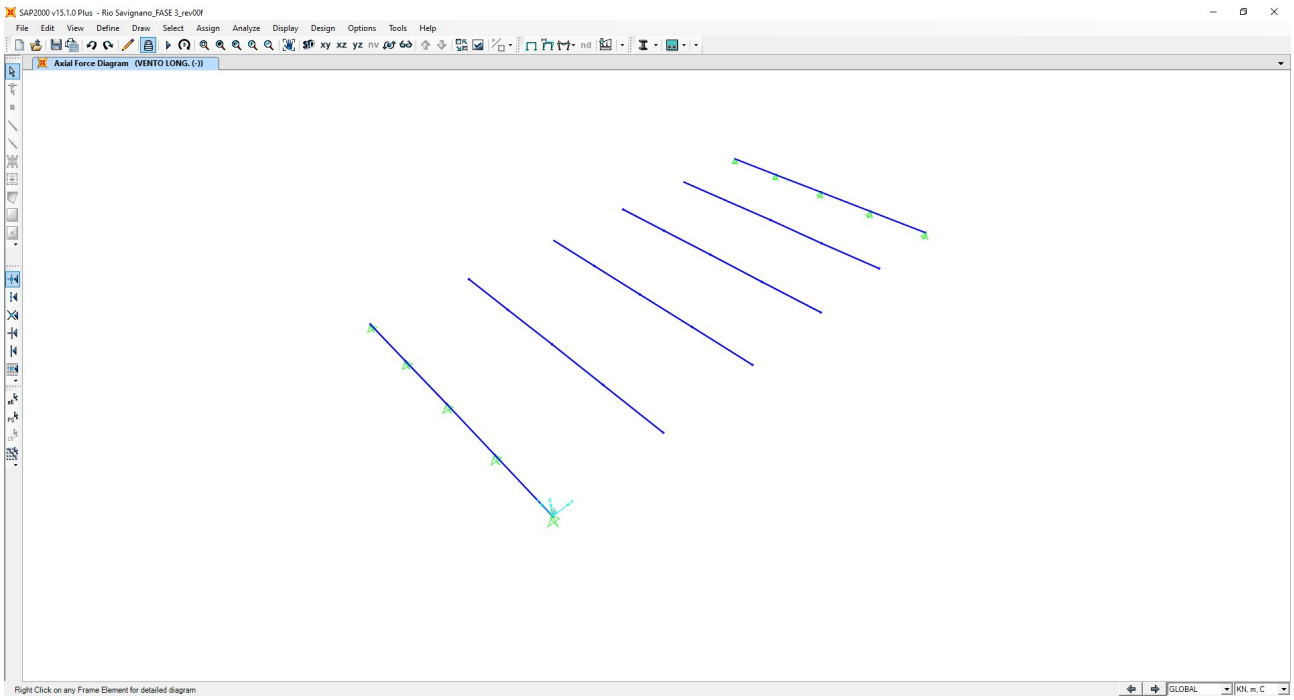


### 11.6.13.2 Azione tagliante

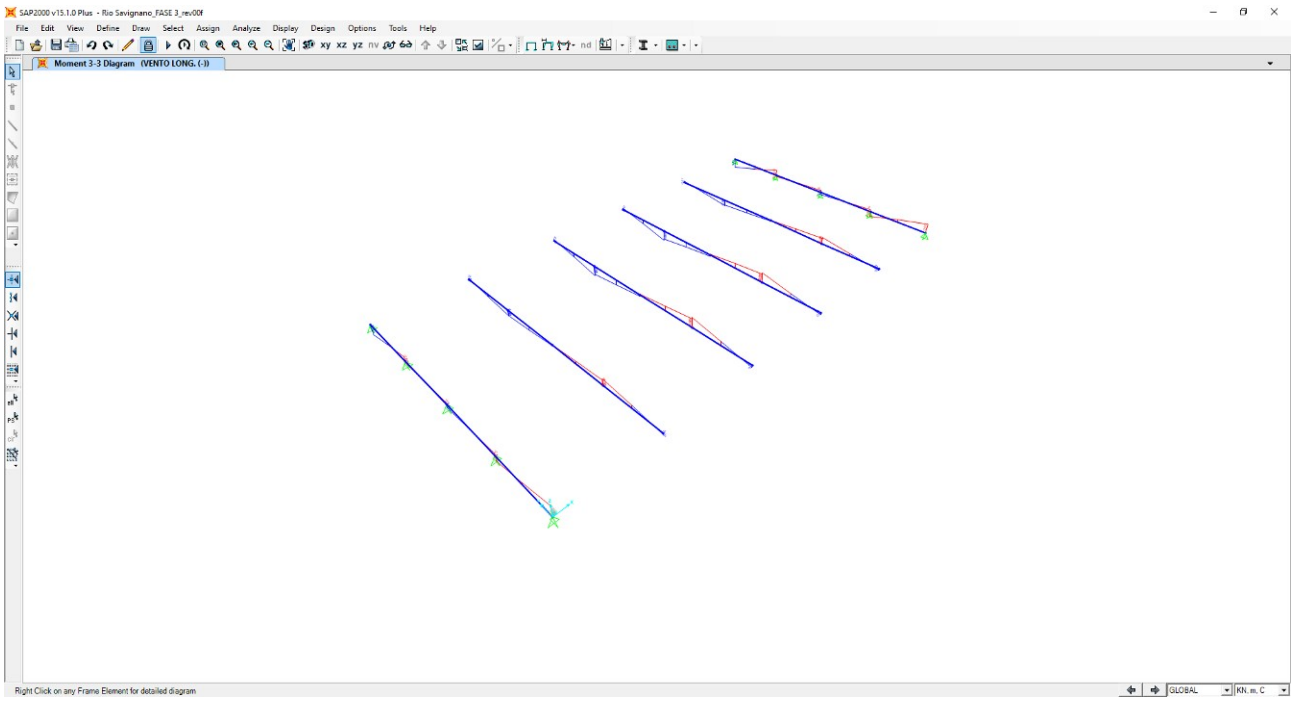


## 11.6.14 FASE 3 – AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO (-) (EFFETTO "TIRA – SPINGI" SULLE TRAVI PRINCIPALI)

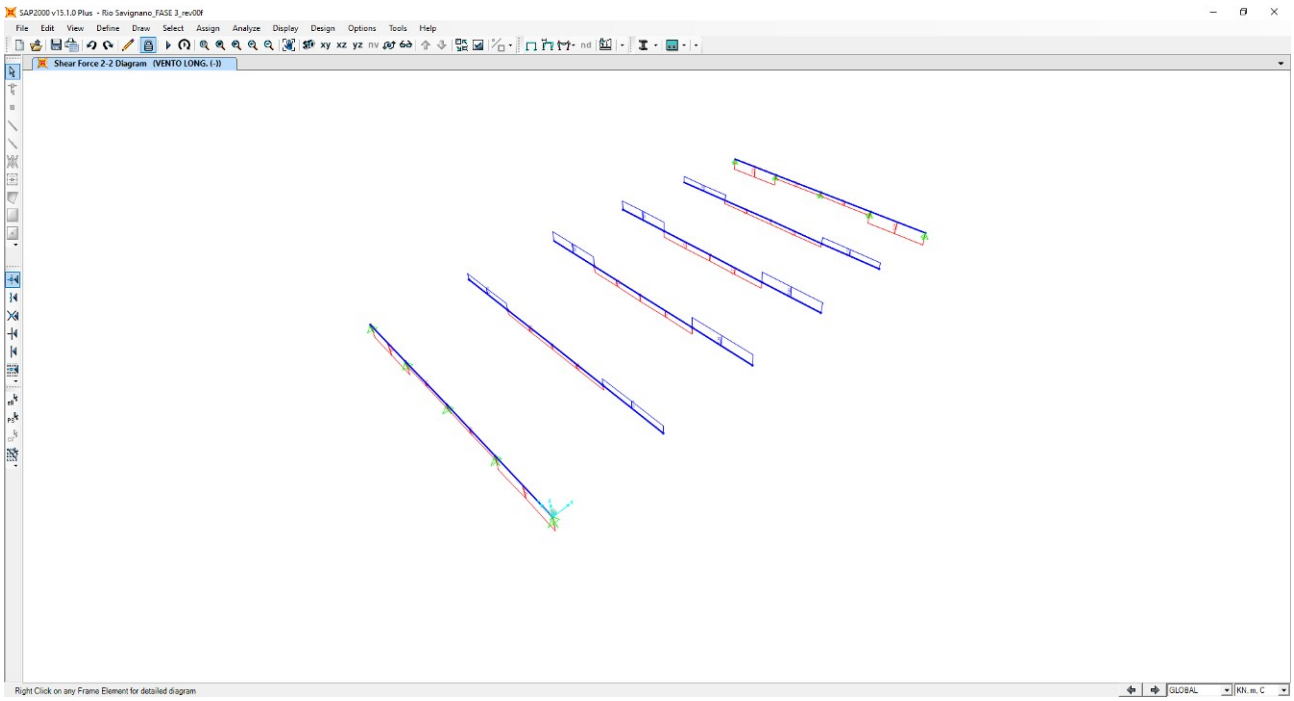
### 11.6.14.1 Azione normale




### 11.6.14.2 Momento flettente



### 11.6.14.3 Azione tagliante



# 12 ANALISI E VERIFICA DELL'IMPALCATO

## 12.1 GENERALITÀ

In fase di verifica vengono seguiti i criteri contenuti all'interno del D.M. 17.01.2018 e della Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP., capitoli 4.2 e 4.3, che risultano in completo accordo con quanto previsto all'interno degli Eurocodici e degli Annessi Tecnici Nazionali (nello specifico EN1993-1-1, EN1993-1-5, EN1993-2, EN1994-1-1, EN1994-2). Nel prosieguo si farà riferimento puntuale a quest'ultimo testo, caratterizzato da una trattazione più omogenea, e da un riferimento più puntuale relativamente alle varie regole applicative.

Nell'ambito dei vari Stati Limite considerati, si effettuano le seguenti verifiche sezionali per le travi e i traversi dell'impalcato:

- **Stati Limite Ultimi**: resistenza delle sezioni (incluse verifiche di local buckling);
- **Stati Limite di Esercizio**: limitazione delle tensioni, web breathing;
- **Stato Limite di Fatica**: verifica dell'ampiezza dei $\Delta\sigma$

I medesimi Stati Limite verranno esaminati per la verifica della connessione trave-soletta. Per le combinazioni di carico si rimanda allo specifico capitolo della presente relazione.

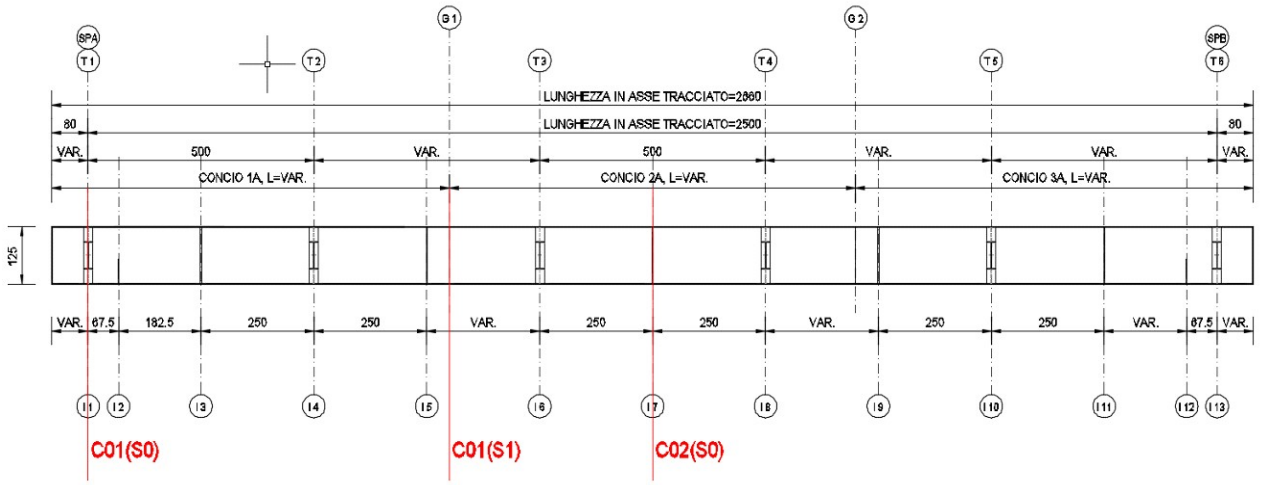
## 12.2 VERIFICHE DELLE TRAVI METALLICHE PRINCIPALI

### 12.2.1 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Considerando che le travi hanno le medesime caratteristiche geometriche, nei paragrafi successivi sono riportate le seguenti verifiche sulle sezioni della trave T5, la quale risulta essere la più sollecitata:

- Verifiche tensionali in esercizio sulle sezioni efficaci (a seguito della definizione delle tensioni sulle sezioni lorde e la definizione delle aree efficaci)
- Verifiche tensionali allo Stato Limite Ultimo per presso/tensoflessione sulle sezioni efficaci
- Verifiche tensionali allo Stato Limite Ultimo per taglio sulle sezioni efficaci
- Verifica di instabilità a taglio dell'anima condotta sulla sezione efficace

Di seguito è riportata l'ubicazione delle sezioni di verifica in corrispondenza dei differenti conci costituenti le travi principali:



## 12.2.1.1 Concio 01A (T)

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

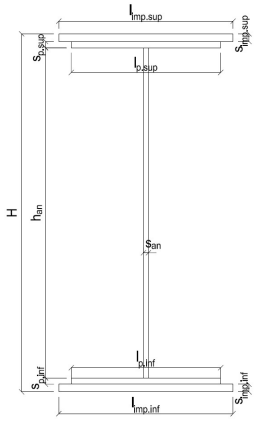
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



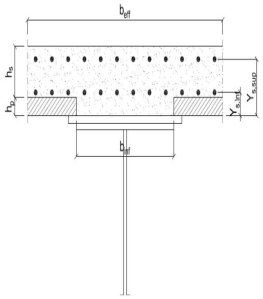

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

**E. AZIONI SOLLECITANTI**

| AZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | | FASE III (breve durata) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | traffico veicolare | azione del vento | termica differenziale ($\Delta T_{positivo}$) | | termica differenziale ($\Delta T_{negativo}$) | |
| | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | effetto isostatico | effetto iperstatico |
| $N_k$ [kN] | 0,00 | 0,00 | 3.136,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.119,52 | 0,00 | -72,27 | 0,00 |
| $M_k$ [kNm] | -4,76 | 0,00 | 1.435,41 | 0,00 | -148,89 | -0,06 | -1.591,41 | 0,00 | -18,79 | 0,00 |
| $V_k$ [kN] | -19,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -315,25 | -0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| γ | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| ψ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

**F. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA LORDA**

F.1. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,23 | -0,14 | 0,00 | -0,02 | -0,39 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -5,81 | -0,70 | 0,00 | 0,89 | -5,62 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -8,37 | -0,50 | 0,00 | 2,23 | -6,63 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,22 | 0,00 | 30,10 | -0,24 | 0,00 | -15,87 | 13,78 |
| Estradosso anima | -0,21 | 0,00 | 29,53 | -0,19 | 0,00 | -15,57 | 13,56 |
| Intradosso anima | 0,11 | 0,00 | -4,34 | 2,57 | 0,00 | 2,17 | 0,51 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,13 | 0,00 | -5,48 | 2,67 | 0,00 | 2,76 | 0,07 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,23 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,36 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -5,81 | -0,70 | 0,00 | 0,01 | -6,50 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -8,37 | -0,50 | 0,00 | 0,03 | -8,84 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,22 | 0,00 | 30,10 | -0,24 | 0,00 | -0,19 | 29,46 |
| Estradosso anima | -0,21 | 0,00 | 29,53 | -0,19 | 0,00 | -0,18 | 28,95 |
| Intradosso anima | 0,11 | 0,00 | -4,34 | 2,57 | 0,00 | 0,03 | -1,63 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,13 | 0,00 | -5,48 | 2,67 | 0,00 | 0,03 | -2,66 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,27 | -0,18 | 0,00 | -0,03 | -0,48 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 1,07 | -6,85 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 2,68 | -8,03 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -19,04 | 16,47 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -18,68 | 16,21 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 2,60 | 1,02 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 3,31 | 0,51 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

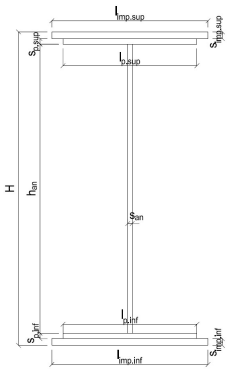
F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,27 | -0,18 | 0,00 | 0,00 | -0,45 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 0,01 | -7,91 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 0,03 | -10,68 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -0,22 | 35,28 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -0,22 | 34,68 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 0,03 | -1,55 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 0,04 | -2,77 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

## H. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA - AREE EFFICACI

*H.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an,eff,2}$ | 714,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup,eff}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf,eff}$ | 800,00 | [mm] |
| $l_{p,sup,eff}$ | 600,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $l_{imp,inf,eff}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an,eff,1}$ | 476,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |




*H.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

## I. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA - AREE EFFICACI

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## L. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA EFFICACE

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,73 | -0,18 | 0,00 | -0,03 | -0,94 | -1,45 | 1,54 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 1,07 | -6,85 | -391,30 | 57,15 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 2,68 | -8,03 | -391,30 | 48,73 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -19,04 | 16,47 | 338,10 | 20,53 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -18,68 | 16,21 | 338,10 | 20,86 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 2,60 | 1,02 | 338,10 | 332,49 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 3,31 | 0,51 | 338,10 | 668,00 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,73 | -0,18 | 0,00 | 0,00 | -0,91 | -1,45 | 1,59 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 0,01 | -7,91 | -391,30 | 49,50 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 0,03 | -10,68 | -391,30 | 36,64 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -0,22 | 35,28 | 338,10 | 9,58 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -0,22 | 34,68 | 338,10 | 9,75 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 0,03 | -1,55 | -338,10 | 217,85 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 0,04 | -2,77 | -338,10 | 122,07 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**M. VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO**

M.1. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | -0,96 | 0,00 | 0,00 | -15,48 | -0,01 | 0,00 | -16,45 | -195,20 | 11,87 |

M.2. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | -0,96 | 0,00 | 0,00 | -15,48 | -0,01 | 0,00 | -16,45 | -195,20 | 11,87 |

**N. VERIFICA DI INSTABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi | 2.500,00 | [mm] | Spessore dell'ala di resistenza assiale minore | 20,00 | [mm] |
| Altezza efficace dell'anima | 1.190,00 | [mm] | Coefficiente di imbozzamento $k_\tau$ | 6,25 | [-] |
| Tensione critica euleriana dell'anima | 64,94 | [N/mm$^2$] | Tensione tangenziale critica dell'anima | 405,63 | [N/mm$^2$] |
| Parametro di snellezza dell'anima $\lambda_w$ | 1,78 | [-] | Coefficiente $\chi_w$ | 1,10 | [-] |
| Coefficiente $\eta$ | 1,25 | [-] | Rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | [-] |

**A favore di sicurezza non si considera il contributo irrigidente delle piattabande.**

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | RESISTENZA ALL'INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 452,30 | 5.628,53 | 12,44 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 452,30 | 5.628,53 | 12,44 |

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m] | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 452,30 | 261,39 | 13,07 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 452,30 | 261,39 | 13,07 |

| COMBINAZIONE | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 13,07 | 92,54 | 87,41 | 6,69 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 13,07 | 92,54 | 87,41 | 6,69 |

## 12.2.1.2 Concio 01A (G)

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

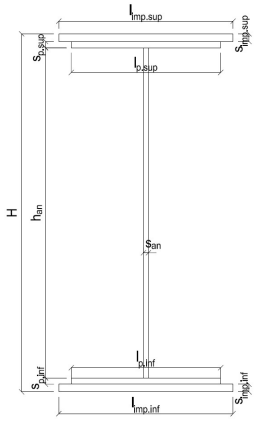
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



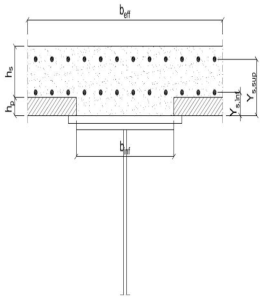

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

**E. AZIONI SOLLECITANTI**

| AZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | | FASE III (breve durata) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | traffico veicolare | azione del vento | termica differenziale ($\Delta T_{positivo}$) | | termica differenziale ($\Delta T_{negativo}$) | |
| | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | effetto isostatico | effetto iperstatico |
| $N_k$ [kN] | 0,00 | 0,00 | 3.136,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.119,52 | 0,00 | -72,27 | 0,00 |
| $M_k$ [kNm] | 2.589,48 | 1.706,15 | 1.435,41 | 0,00 | 4.351,33 | 28,35 | -1.591,41 | 0,00 | -18,79 | 0,00 |
| $V_k$ [kN] | -189,28 | -107,60 | 0,00 | 0,00 | 241,58 | -2,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| γ | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| ψ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

**F. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA LORDA**

F.1. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,06 | -0,23 | 3,96 | 0,02 | -0,02 | 4,78 |
| Armatura superiore | 0,00 | 19,73 | -5,81 | 20,58 | 0,08 | 0,89 | 35,48 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 16,48 | -8,37 | 14,47 | 0,06 | 2,23 | 24,87 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 117,92 | 12,51 | 30,10 | 7,00 | 0,03 | -15,87 | 151,69 |
| Estradosso anima | 114,94 | 11,79 | 29,53 | 5,64 | 0,02 | -15,57 | 146,35 |
| Intradosso anima | -62,24 | -31,15 | -4,34 | -75,19 | -0,29 | 2,17 | -171,05 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -68,20 | -32,59 | -5,48 | -77,91 | -0,30 | 2,76 | -181,72 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,06 | -0,23 | 3,96 | 0,02 | 0,00 | 4,81 |
| Armatura superiore | 0,00 | 19,73 | -5,81 | 20,58 | 0,08 | 0,01 | 34,59 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 16,48 | -8,37 | 14,47 | 0,06 | 0,03 | 22,66 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 117,92 | 12,51 | 30,10 | 7,00 | 0,03 | -0,19 | 167,37 |
| Estradosso anima | 114,94 | 11,79 | 29,53 | 5,64 | 0,02 | -0,18 | 161,74 |
| Intradosso anima | -62,24 | -31,15 | -4,34 | -75,19 | -0,29 | 0,03 | -173,19 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -68,20 | -32,59 | -5,48 | -77,91 | -0,30 | 0,03 | -184,45 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,59 | -0,27 | 5,34 | 0,02 | -0,03 | 6,66 |
| Armatura superiore | 0,00 | 29,59 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 1,07 | 51,60 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 24,72 | -10,04 | 19,53 | 0,08 | 2,68 | 36,98 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 159,19 | 18,77 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -19,04 | 204,53 |
| Estradosso anima | 155,17 | 17,68 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -18,68 | 197,26 |
| Intradosso anima | -84,03 | -46,72 | -5,21 | -101,51 | -0,44 | 2,60 | -235,30 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -92,07 | -48,88 | -6,58 | -105,17 | -0,46 | 3,31 | -249,84 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,59 | -0,27 | 5,34 | 0,02 | 0,00 | 6,68 |
| Armatura superiore | 0,00 | 29,59 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 0,01 | 50,54 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 24,72 | -10,04 | 19,53 | 0,08 | 0,03 | 34,33 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 159,19 | 18,77 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -0,22 | 223,34 |
| Estradosso anima | 155,17 | 17,68 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -0,22 | 215,72 |
| Intradosso anima | -84,03 | -46,72 | -5,21 | -101,51 | -0,44 | 0,03 | -237,87 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -92,07 | -48,88 | -6,58 | -105,17 | -0,46 | 0,04 | -253,12 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

## G. CALCOLO DELLE SEZIONI EFFICACI

### G.1. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA SUPERIORI

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [ | 600,00 | 600,00 | 600,00 | 600,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | 151,69 | 167,37 | 204,53 | 223,34 |
| stato tensionale | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 14,45 | 14,45 | 14,45 | 14,45 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 289,00 | 289,00 | 289,00 | 289,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| coefficiente $\rho$ | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 243,30 | 243,30 | 243,30 | 243,30 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 |

**Nel calcolo delle proprietà efficaci del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori, la sezione si considera tutta efficiente in quanto rigidamente connessa alla soletta superiore mediante la piolatura.**

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace dell'impiattamento superiore | 0,00 | [mm] |
| Larghezza efficace della piattabanda superiore | 600,00 | [mm] |

### G.2. ANIMA

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| altezza dell'anima [mm] | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 |
| spessore dell'anima [mm] | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 |
| area lorda dell'anima [mm$^2$] | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 |
| interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi a [mm] | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 |
| tensione $\sigma_1$ membratura all'estradosso [N/mm$^2$] | 146,35 | 161,74 | 197,26 | 215,72 |
| tensione $\sigma_2$ membratura all'intradosso [N/mm$^2$] | -171,05 | -173,19 | -235,30 | -237,87 |
| coefficiente di variazione $\psi$ | -0,86 | -0,93 | -0,84 | -0,91 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto $\alpha = a/h_w$ | 2,10 | 2,10 | 2,10 | 2,10 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 20,32 | 22,21 | 19,91 | 21,54 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,52 | 0,50 | 0,52 | 0,50 |
| coefficiente $\rho$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| altezza efficace $h_{eff}$ [mm] | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 |
| altezza efficace $h_{eff,1}$ [mm] | 476,00 | 476,00 | 476,00 | 476,00 |
| altezza efficace $h_{eff,2}$ [mm] | 714,00 | 714,00 | 714,00 | 714,00 |
| area efficace dell'anima $A_{eff}$ [mm$^2$] | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Altezza efficace totale $h_{eff}$ dell'anima | 1.190,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,1}$ dell'anima | 476,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,2}$ dell'anima | 714,00 | [mm] |

### G.3. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA INFERIORI

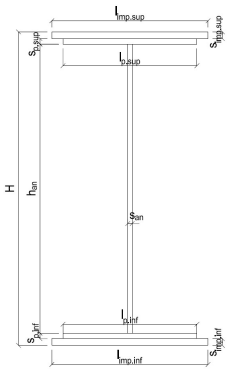
| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [m | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm] | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | -181,72 | -184,45 | -249,84 | -253,12 |
| stato tensionale | TESA | TESA | TESA | TESA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 9,73 | 9,73 | 9,73 | 9,73 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | - | - | - | - |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 389,00 | 389,00 | 389,00 | 389,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | - | - | - | - |
| coefficiente $\rho$ | - | - | - | - |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 389,00 | 389,00 | 389,00 | 389,00 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace della piattabanda inferiore | 800,00 | [mm] |
| Larghezza efficace dell'impiattamento inferiore | 0,00 | [mm] |

## H. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA - AREE EFFICACI

*H.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an,eff,2}$ | 714,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup,eff}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf,eff}$ | 800,00 | [mm] |
| $l_{p,sup,eff}$ | 600,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $l_{imp,inf,eff}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an,eff,1}$ | 476,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |




*H.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [$mm^2$] | $W_{imp,sup}$ | - | [$mm^3$] |
| S | 3,214E+07 | [$mm^3$] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [$mm^3$] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [$mm^3$] |
| J | 1,739E+10 | [$mm^4$] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [$mm^3$] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [$mm^4$] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [$mm^3$] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [$mm^2$] | $W_{imp,inf}$ | - | [$mm^3$] |

## I. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA - AREE EFFICACI

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [$m^3$] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [$m^2$] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [$m^4$] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [$m^4$] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [$m^3$] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [$m^3$] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [$m^3$] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [$m^3$] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [$m^3$] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [$m^3$] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [$m^3$] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [$m^3$] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [$m^3$] | - | - | - | - |

## L. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA EFFICACE

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [$N/mm^2$] | $\sigma_{limite}$ [$N/mm^2$] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,59 | -0,73 | 5,34 | 0,02 | -0,03 | 6,20 | 18,81 | 3,03 |
| Armatura superiore | 0,00 | 29,59 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 1,07 | 51,60 | 391,30 | 7,58 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 24,72 | -10,04 | 19,53 | 0,08 | 2,68 | 36,98 | 391,30 | 10,58 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 159,19 | 18,77 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -19,04 | 204,53 | 338,10 | 1,65 |
| Estradosso anima | 155,17 | 17,68 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -18,68 | 197,26 | 338,10 | 1,71 |
| Intradosso anima | -84,03 | -46,72 | -5,21 | -101,51 | -0,44 | 2,60 | -235,30 | -338,10 | 1,44 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -92,07 | -48,88 | -6,58 | -105,17 | -0,46 | 3,31 | -249,84 | -338,10 | 1,35 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [$N/mm^2$] | $\sigma_{limite}$ [$N/mm^2$] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,59 | -0,73 | 5,34 | 0,02 | 0,00 | 6,23 | 18,81 | 3,02 |
| Armatura superiore | 0,00 | 29,59 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 0,01 | 50,54 | 391,30 | 7,74 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 24,72 | -10,04 | 19,53 | 0,08 | 0,03 | 34,33 | 391,30 | 11,40 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 159,19 | 18,77 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -0,22 | 223,34 | 338,10 | 1,51 |
| Estradosso anima | 155,17 | 17,68 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -0,22 | 215,72 | 338,10 | 1,57 |
| Intradosso anima | -84,03 | -46,72 | -5,21 | -101,51 | -0,44 | 0,03 | -237,87 | -338,10 | 1,42 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -92,07 | -48,88 | -6,58 | -105,17 | -0,46 | 0,04 | -253,12 | -338,10 | 1,34 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**M. VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO**

M.1. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | -9,29 | -5,87 | 0,00 | 11,86 | -0,07 | 0,00 | -3,37 | -195,20 | 57,91 |

M.2. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | -9,29 | -5,87 | 0,00 | 11,86 | -0,07 | 0,00 | -3,37 | -195,20 | 57,91 |

**N. VERIFICA DI INSTABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi | 2.500,00 | [mm] | Spessore dell'ala di resistenza assiale minore | 20,00 | [mm] |
| Altezza efficace dell'anima | 1.190,00 | [mm] | Coefficiente di imbozzamento $k_\tau$ | 6,25 | [-] |
| Tensione critica euleriana dell'anima | 64,94 | [N/mm$^2$] | Tensione tangenziale critica dell'anima | 405,63 | [N/mm$^2$] |
| Parametro di snellezza dell'anima $\lambda_w$ | 1,78 | [-] | Coefficiente $\chi_w$ | 1,10 | [-] |
| Coefficiente $\eta$ | 1,25 | [-] | Rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | [-] |

**A favore di sicurezza non si considera il contributo irrigidente delle piattabande.**

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | RESISTENZA ALL'INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 92,70 | 5.628,53 | 60,72 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 92,70 | 5.628,53 | 60,72 |

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m] | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 92,70 | 53,57 | 2,68 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 92,70 | 53,57 | 2,68 |

| COMBINAZIONE | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 2,68 | 92,54 | 87,41 | 32,63 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 2,68 | 92,54 | 87,41 | 32,63 |

## 12.2.1.3 Concio 02A

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

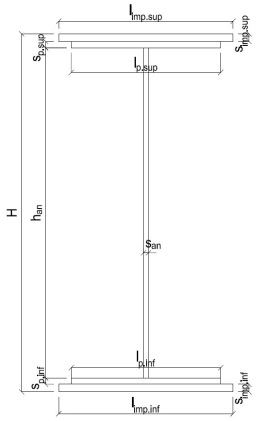
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 750,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 20,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 30,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.180,00 | [mm] | | | |



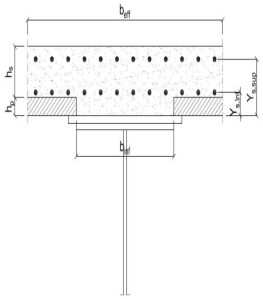

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 76.960,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,245E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,227E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 421,70 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,282E+07 | [mm³] |
| J | 1,844E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,962E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 1,499E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -4,708E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | -4,373E+07 | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 156,07 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 8,588E+05 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 3.790,00 | [mm] | J | 3,811E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 2.918,30 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 2.918,30 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 180,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,245E-02 | 9,804E-02 | 1,122E-01 | 2,293E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,422 | 0,793 | 0,839 | 1,057 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,696E-02 | 1,236E-01 | 1,337E-01 | 2,170E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 1,499E-05 | 6,559E-04 | 8,135E-04 | 2,120E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,844E-02 | 4,671E-02 | 5,025E-02 | 6,712E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 6,424E-02 | 7,378E-02 | 1,449E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 7,331E-02 | 8,502E-02 | 1,798E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 8,236E-02 | 9,644E-02 | 2,213E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,227E-02 | 1,022E-01 | 1,222E-01 | 3,471E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,282E-02 | 1,069E-01 | 1,285E-01 | 3,872E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,962E-02 | -6,288E-02 | -6,369E-02 | -6,668E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -4,708E-02 | -6,123E-02 | -6,212E-02 | -6,538E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | -4,373E-02 | -5,891E-02 | -5,989E-02 | -6,353E-02 |

**E. AZIONI SOLLECITANTI**

| AZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | | FASE III (breve durata) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | traffico veicolare | azione del vento | termica differenziale ($\Delta T_{positivo}$) | | termica differenziale ($\Delta T_{negativo}$) | |
| | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | effetto isostatico | effetto iperstatico |
| $N_k$ [kN] | 0,00 | 0,00 | 3.136,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -4.795,26 | 0,00 | -64,98 | 0,00 |
| $M_k$ [kNm] | 3.063,10 | 1.998,81 | 1.778,91 | 0,00 | 4.940,30 | 33,32 | -1.675,66 | 0,00 | -22,71 | 0,00 |
| $V_k$ [kN] | 0,00 | 13,51 | 0,00 | 0,00 | 352,80 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| γ | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| ψ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

**F. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA LORDA**

F.1. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,48 | -0,46 | 5,33 | 0,02 | 0,05 | 6,43 |
| Armatura superiore | 0,00 | 27,26 | -10,90 | 27,48 | 0,11 | 1,70 | 45,65 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 24,27 | -13,38 | 22,33 | 0,09 | 2,74 | 36,05 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 137,57 | 19,56 | 38,01 | 14,23 | 0,06 | -16,16 | 193,28 |
| Estradosso anima | 134,25 | 18,71 | 37,31 | 12,76 | 0,05 | -15,86 | 187,22 |
| Intradosso anima | -61,74 | -31,79 | -4,47 | -74,09 | -0,30 | 1,82 | -170,56 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -65,06 | -32,64 | -5,18 | -75,56 | -0,31 | 2,12 | -176,63 |
| Intradosso impiattamento inferiore | -70,040448 | -33,93 | -6,24 | -77,77 | -0,31 | 2,57 | -185,72 |

F.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,48 | -0,46 | 5,33 | 0,02 | 0,00 | 6,37 |
| Armatura superiore | 0,00 | 27,26 | -10,90 | 27,48 | 0,11 | 0,02 | 43,98 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 24,27 | -13,38 | 22,33 | 0,09 | 0,04 | 33,35 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 137,57 | 19,56 | 38,01 | 14,23 | 0,06 | -0,22 | 209,22 |
| Estradosso anima | 134,25 | 18,71 | 37,31 | 12,76 | 0,05 | -0,21 | 202,86 |
| Intradosso anima | -61,74 | -31,79 | -4,47 | -74,09 | -0,30 | 0,02 | -172,36 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -65,06 | -32,64 | -5,18 | -75,56 | -0,31 | 0,03 | -178,72 |
| Intradosso impiattamento inferiore | -70,04 | -33,93 | -6,24 | -77,77 | -0,31 | 0,03 | -188,26 |

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 2,22 | -0,55 | 7,19 | 0,03 | 0,07 | 8,96 |
| Armatura superiore | 0,00 | 40,90 | -13,08 | 37,10 | 0,17 | 2,03 | 67,12 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 36,40 | -16,05 | 30,14 | 0,14 | 3,29 | 53,92 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 185,72 | 29,34 | 45,62 | 19,21 | 0,09 | -19,39 | 260,59 |
| Estradosso anima | 181,24 | 28,06 | 44,77 | 17,23 | 0,08 | -19,03 | 252,34 |
| Intradosso anima | -83,34 | -47,68 | -5,36 | -100,02 | -0,45 | 2,18 | -234,68 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -87,83 | -48,97 | -6,21 | -102,01 | -0,46 | 2,54 | -242,93 |
| Intradosso impiattamento inferiore | -94,55 | -50,89 | -7,49 | -104,99 | -0,47 | 3,08 | -255,31 |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 2,22 | -0,55 | 7,19 | 0,03 | 0,00 | 8,90 |
| Armatura superiore | 0,00 | 40,90 | -13,08 | 37,10 | 0,17 | 0,03 | 65,11 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 36,40 | -16,05 | 30,14 | 0,14 | 0,04 | 50,67 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 185,72 | 29,34 | 45,62 | 19,21 | 0,09 | -0,26 | 279,72 |
| Estradosso anima | 181,24 | 28,06 | 44,77 | 17,23 | 0,08 | -0,26 | 271,11 |
| Intradosso anima | -83,34 | -47,68 | -5,36 | -100,02 | -0,45 | 0,03 | -236,83 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -87,83 | -48,97 | -6,21 | -102,01 | -0,46 | 0,03 | -245,44 |
| Intradosso impiattamento inferiore | -94,55 | -50,89 | -7,49 | -104,99 | -0,47 | 0,04 | -258,35 |

## G. CALCOLO DELLE SEZIONI EFFICACI

### G.1. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA SUPERIORI

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [ | 600,00 | 600,00 | 600,00 | 600,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | 193,28 | 209,22 | 260,59 | 279,72 |
| stato tensionale | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 14,45 | 14,45 | 14,45 | 14,45 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 289,00 | 289,00 | 289,00 | 289,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| coefficiente $\rho$ | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 243,30 | 243,30 | 243,30 | 243,30 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 |

**Nel calcolo delle proprietà efficaci del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori, la sezione si considera tutta efficiente in quanto rigidamente connessa alla soletta superiore mediante la piolatura.**

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace dell'impiattamento superiore | 0,00 | [mm] |
| Larghezza efficace della piattabanda superiore | 600,00 | [mm] |

### G.2. ANIMA

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| altezza dell'anima [mm] | 1.180,00 | 1.180,00 | 1.180,00 | 1.180,00 |
| spessore dell'anima [mm] | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 |
| area lorda dell'anima [mm$^2$] | 25.960,00 | 25.960,00 | 25.960,00 | 25.960,00 |
| interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi a [mm] | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 |
| tensione $\sigma_1$ membratura all'estradosso [N/mm$^2$] | 187,22 | 202,86 | 252,34 | 271,11 |
| tensione $\sigma_2$ membratura all'intradosso [N/mm$^2$] | -170,56 | -172,36 | -234,68 | -236,83 |
| coefficiente di variazione $\psi$ | -0,91 | -0,85 | -0,93 | -0,87 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto $\alpha = a/h_w$ | 2,12 | 2,12 | 2,12 | 2,12 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 21,64 | 20,18 | 22,11 | 20,74 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,50 | 0,52 | 0,49 | 0,51 |
| coefficiente $\rho$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| altezza efficace $h_{eff}$ [mm] | 1.180,00 | 1.180,00 | 1.180,00 | 1.180,00 |
| altezza efficace $h_{eff,1}$ [mm] | 472,00 | 472,00 | 472,00 | 472,00 |
| altezza efficace $h_{eff,2}$ [mm] | 708,00 | 708,00 | 708,00 | 708,00 |
| area efficace dell'anima $A_{eff}$ [mm$^2$] | 25.960,00 | 25.960,00 | 25.960,00 | 25.960,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Altezza efficace totale $h_{eff}$ dell'anima | 1.180,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,1}$ dell'anima | 472,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,2}$ dell'anima | 708,00 | [mm] |

### G.3. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA INFERIORI

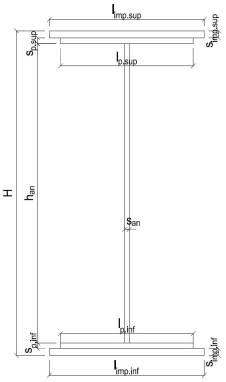
| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [m | 780,00 | 780,00 | 780,00 | 780,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm] | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 39.000,00 | 39.000,00 | 39.000,00 | 39.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | -185,72 | -188,26 | -255,31 | -258,35 |
| stato tensionale | TESA | TESA | TESA | TESA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 7,58 | 7,58 | 7,58 | 7,58 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | - | - | - | - |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 379,00 | 379,00 | 379,00 | 379,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | - | - | - | - |
| coefficiente $\rho$ | - | - | - | - |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 379,00 | 379,00 | 379,00 | 379,00 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 39.000,00 | 39.000,00 | 39.000,00 | 39.000,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace della piattabanda inferiore | 750,00 | [mm] |
| Larghezza efficace dell'impiattamento inferiore | 800,00 | [mm] |

## H. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA - AREE EFFICACI

*H.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an,eff,2}$ | 708,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup,eff}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf,eff}$ | 750,00 | [mm] |
| $l_{p,sup,eff}$ | 600,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 20,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $l_{imp,inf,eff}$ | 800,00 | [mm] |
| $h_{an,eff,1}$ | 472,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 30,00 | [mm] |




*H.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 76.960,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,245E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,227E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 421,70 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,282E+07 | [mm³] |
| J | 1,844E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,962E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 1,499E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -4,708E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | -4,373E+07 | [mm³] |

## I. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA - AREE EFFICACI

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,245E-02 | 9,804E-02 | 1,122E-01 | 2,293E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,422 | 0,793 | 0,839 | 1,057 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,696E-02 | 1,236E-01 | 1,337E-01 | 2,170E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 1,499E-05 | 6,559E-04 | 8,135E-04 | 2,120E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,844E-02 | 4,671E-02 | 5,025E-02 | 6,712E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 6,424E-02 | 7,378E-02 | 1,449E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 7,331E-02 | 8,502E-02 | 1,798E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 8,236E-02 | 9,644E-02 | 2,213E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superio | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,227E-02 | 1,022E-01 | 1,222E-01 | 3,471E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,282E-02 | 1,069E-01 | 1,285E-01 | 3,872E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,962E-02 | -6,288E-02 | -6,369E-02 | -6,668E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -4,708E-02 | -6,123E-02 | -6,212E-02 | -6,538E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | -4,373E-02 | -5,891E-02 | -5,989E-02 | -6,353E-02 |

## L. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA EFFICACE

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 2,22 | -1,32 | 7,19 | 0,03 | 0,07 | 8,19 | 18,81 | 2,30 |
| Armatura superiore | 0,00 | 40,90 | -13,08 | 37,10 | 0,17 | 2,03 | 67,12 | 391,30 | 5,83 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 36,40 | -16,05 | 30,14 | 0,14 | 3,29 | 53,92 | 391,30 | 7,26 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 185,72 | 29,34 | 45,62 | 19,21 | 0,09 | -19,39 | 260,59 | 338,10 | 1,30 |
| Estradosso anima | 181,24 | 28,06 | 44,77 | 17,23 | 0,08 | -19,03 | 252,34 | 338,10 | 1,34 |
| Intradosso anima | -83,34 | -47,68 | -5,36 | -100,02 | -0,45 | 2,18 | -234,68 | -338,10 | 1,44 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -87,83 | -48,97 | -6,21 | -102,01 | -0,46 | 2,54 | -242,93 | -338,10 | 1,39 |
| Intradosso impiattamento inferiore | -94,55 | -50,89 | -7,49 | -104,99 | -0,47 | 3,08 | -255,31 | -338,10 | 1,32 |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 2,22 | -1,32 | 7,19 | 0,03 | 0,00 | 8,13 | 18,81 | 2,31 |
| Armatura superiore | 0,00 | 40,90 | -13,08 | 37,10 | 0,17 | 0,03 | 65,11 | 391,30 | 6,01 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 36,40 | -16,05 | 30,14 | 0,14 | 0,04 | 50,67 | 391,30 | 7,72 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 185,72 | 29,34 | 45,62 | 19,21 | 0,09 | -0,26 | 279,72 | 338,10 | 1,21 |
| Estradosso anima | 181,24 | 28,06 | 44,77 | 17,23 | 0,08 | -0,26 | 271,11 | 338,10 | 1,25 |
| Intradosso anima | -83,34 | -47,68 | -5,36 | -100,02 | -0,45 | 0,03 | -236,83 | -338,10 | 1,43 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -87,83 | -48,97 | -6,21 | -102,01 | -0,46 | 0,03 | -245,44 | -338,10 | 1,38 |
| Intradosso impiattamento inferiore | -94,55 | -50,89 | -7,49 | -104,99 | -0,47 | 0,04 | -258,35 | -338,10 | 1,31 |

**M. VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO**

M.1. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | 0,00 | 0,74 | 0,00 | 17,32 | 0,00 | 0,00 | 18,05 | 195,20 | 10,81 |

M.2. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | 0,00 | 0,74 | 0,00 | 17,32 | 0,00 | 0,00 | 18,05 | 195,20 | 10,81 |

**N. VERIFICA DI INSTABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi | 2.500,00 | [mm] | Spessore dell'ala di resistenza assiale minore | 20,00 | [mm] |
| Altezza efficace dell'anima | 1.180,00 | [mm] | Coefficiente di imbozzamento $k_\tau$ | 6,23 | [-] |
| Tensione critica euleriana dell'anima | 66,04 | [N/mm$^2$] | Tensione tangenziale critica dell'anima | 411,53 | [N/mm$^2$] |
| Parametro di snellezza dell'anima $\lambda_w$ | 1,76 | [-] | Coefficiente $\chi_w$ | 1,11 | [-] |
| Coefficiente $\eta$ | 1,25 | [-] | Rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | [-] |

**A favore di sicurezza non si considera il contributo irrigidente delle piattabande.**

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | RESISTENZA ALL'INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 496,50 | 5.628,53 | 11,34 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 496,50 | 5.628,53 | 11,34 |

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 15 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 3 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,671E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,505E+07 | [mm$^3$] |

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m] | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 496,50 | 266,27 | 17,75 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 496,50 | 266,27 | 17,75 |

| COMBINAZIONE | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 17,75 | 92,54 | 87,41 | 4,92 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 17,75 | 92,54 | 87,41 | 4,92 |

## 12.2.1.4 Concio 03A (G)

### A. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

*A.1. CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA*

C32/40

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm²] | $f_{ctm}$ | 3,10 | [N/mm²] |
| $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 2,17 | [N/mm²] |
| $f_{cm}$ | 41,20 | [N/mm²] | $f_{ctd}$ | 1,45 | [N/mm²] |
| $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm²] | $E_{cm}$ | 32.811,24 | [N/mm²] |

*A.2. ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA LENTA*

B450C

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

*A.3. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA*

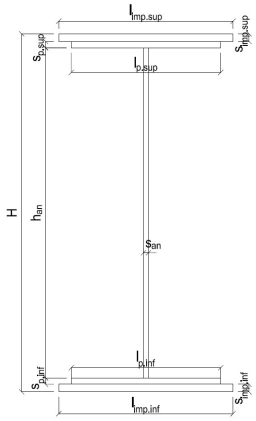
S355

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{tk}$ | 510,00 | [N/mm²] | $f_{yd}$ | 338,10 | [N/mm²] |
| $f_{yk}$ | 355,00 | [N/mm²] | $f_{ctk}$ | 210.000,00 | [N/mm²] |

### B. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA

*B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf}$ | 800,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $l_{p,sup}$ | 600,00 | [mm] | $l_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an}$ | 1.190,00 | [mm] | | | |



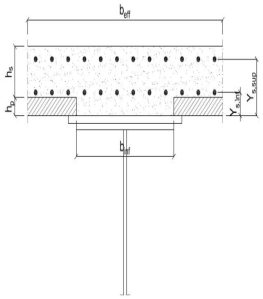

*B.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

### C. CARATTERISTICHE DELLA SOLETTA SUPERIORE IN CEMENTO ARMATO

*C.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_s$ | 220,00 | [mm] | $Y_G$ | 157,04 | [mm] |
| $h_p$ | 50,00 | [mm] | $A_c$ | 1,140E+06 | [mm²] |
| $b_{eff}$ | 5.070,00 | [mm] | J | 4,950E+09 | [mm⁴] |
| $b_{inf}$ | 500,00 | [mm] | | | |




*C.2. ARMATURA LONGITUDINALE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Ø_{inf}$ | 14,00 | [mm] | $Ø_{sup}$ | 14,00 | [mm] |
| $i_{inf}$ | 200,00 | [mm] | $i_{sup}$ | 200,00 | [mm] |
| $A_{s,inf}$ | 3.903,90 | [mm²] | $A_{s,sup}$ | 3.903,90 | [mm²] |
| $Y_{s,inf}$ | 110,00 | [mm] | $Y_{s,sup}$ | 200,00 | [mm] |

☐ SOLETTA FESSURATA

### D. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

**E. AZIONI SOLLECITANTI**

| AZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | | FASE III (breve durata) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | traffico veicolare | azione del vento | termica differenziale ($\Delta T_{positivo}$) | | termica differenziale ($\Delta T_{negativo}$) | |
| | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | effetto isostatico | effetto iperstatico |
| $N_k$ [kN] | 0,00 | 0,00 | 3.136,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.119,52 | 0,00 | -72,27 | 0,00 |
| $M_k$ [kNm] | 2.647,10 | 1.740,04 | 1.435,41 | 0,00 | 4.351,33 | 28,98 | -1.591,41 | 0,00 | -18,79 | 0,00 |
| $V_k$ [kN] | 176,54 | 107,60 | 0,00 | 0,00 | 534,94 | 1,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| γ | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| ψ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

**F. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA LORDA**

F.1. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,08 | -0,23 | 3,96 | 0,02 | -0,02 | 4,80 |
| Armatura superiore | 0,00 | 20,12 | -5,81 | 20,58 | 0,08 | 0,89 | 35,87 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 16,81 | -8,37 | 14,47 | 0,06 | 2,23 | 25,20 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 120,54 | 12,76 | 30,10 | 7,00 | 0,03 | -15,87 | 154,56 |
| Estradosso anima | 117,50 | 12,02 | 29,53 | 5,64 | 0,02 | -15,57 | 149,15 |
| Intradosso anima | -63,63 | -31,77 | -4,34 | -75,19 | -0,30 | 2,17 | -173,06 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -69,71 | -33,24 | -5,48 | -77,91 | -0,31 | 2,76 | -183,89 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,08 | -0,23 | 3,96 | 0,02 | 0,00 | 4,83 |
| Armatura superiore | 0,00 | 20,12 | -5,81 | 20,58 | 0,08 | 0,01 | 34,99 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 16,81 | -8,37 | 14,47 | 0,06 | 0,03 | 22,99 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 120,54 | 12,76 | 30,10 | 7,00 | 0,03 | -0,19 | 170,24 |
| Estradosso anima | 117,50 | 12,02 | 29,53 | 5,64 | 0,02 | -0,18 | 164,53 |
| Intradosso anima | -63,63 | -31,77 | -4,34 | -75,19 | -0,30 | 0,03 | -175,20 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -69,71 | -33,24 | -5,48 | -77,91 | -0,31 | 0,03 | -186,62 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,62 | -0,27 | 5,34 | 0,02 | -0,03 | 6,69 |
| Armatura superiore | 0,00 | 30,18 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 1,07 | 52,19 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 25,21 | -10,04 | 19,53 | 0,09 | 2,68 | 37,47 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 162,73 | 19,14 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -19,04 | 208,44 |
| Estradosso anima | 158,62 | 18,04 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -18,68 | 201,06 |
| Intradosso anima | -85,89 | -47,65 | -5,21 | -101,51 | -0,45 | 2,60 | -238,11 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -94,11 | -49,86 | -6,58 | -105,17 | -0,47 | 3,31 | -252,87 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,62 | -0,27 | 5,34 | 0,02 | 0,00 | 6,72 |
| Armatura superiore | 0,00 | 30,18 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 0,01 | 51,13 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 25,21 | -10,04 | 19,53 | 0,09 | 0,03 | 34,82 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 162,73 | 19,14 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -0,22 | 227,26 |
| Estradosso anima | 158,62 | 18,04 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -0,22 | 219,52 |
| Intradosso anima | -85,89 | -47,65 | -5,21 | -101,51 | -0,45 | 0,03 | -240,68 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -94,11 | -49,86 | -6,58 | -105,17 | -0,47 | 0,04 | -256,15 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

## G. CALCOLO DELLE SEZIONI EFFICACI

### G.1. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA SUPERIORI

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [ | 600,00 | 600,00 | 600,00 | 600,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | 154,56 | 170,24 | 208,44 | 227,26 |
| stato tensionale | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 14,45 | 14,45 | 14,45 | 14,45 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 289,00 | 289,00 | 289,00 | 289,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| coefficiente $\rho$ | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 243,30 | 243,30 | 243,30 | 243,30 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 |

**Nel calcolo delle proprietà efficaci del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori, la sezione si considera tutta efficiente in quanto rigidamente connessa alla soletta superiore mediante la piolatura.**

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace dell'impiattamento superiore | 0,00 | [mm] |
| Larghezza efficace della piattabanda superiore | 600,00 | [mm] |

### G.2. ANIMA

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| altezza dell'anima [mm] | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 |
| spessore dell'anima [mm] | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 |
| area lorda dell'anima [mm$^2$] | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 |
| interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi a [mm] | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 |
| tensione $\sigma_1$ membratura all'estradosso [N/mm$^2$] | 149,15 | 164,53 | 201,06 | 219,52 |
| tensione $\sigma_2$ membratura all'intradosso [N/mm$^2$] | -173,06 | -175,20 | -238,11 | -240,68 |
| coefficiente di variazione $\psi$ | -0,86 | -0,94 | -0,84 | -0,91 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto $\alpha = a/h_w$ | 2,10 | 2,10 | 2,10 | 2,10 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 20,46 | 22,34 | 20,06 | 21,67 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,52 | 0,50 | 0,52 | 0,50 |
| coefficiente $\rho$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| altezza efficace $h_{eff}$ [mm] | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 |
| altezza efficace $h_{eff,1}$ [mm] | 476,00 | 476,00 | 476,00 | 476,00 |
| altezza efficace $h_{eff,2}$ [mm] | 714,00 | 714,00 | 714,00 | 714,00 |
| area efficace dell'anima $A_{eff}$ [mm$^2$] | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Altezza efficace totale $h_{eff}$ dell'anima | 1.190,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,1}$ dell'anima | 476,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,2}$ dell'anima | 714,00 | [mm] |

### G.3. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA INFERIORI

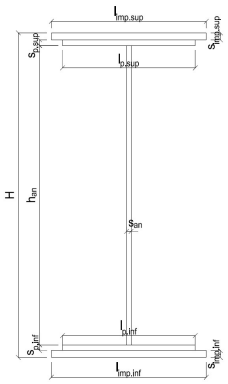
| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [m | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm] | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | -183,89 | -186,62 | -252,87 | -256,15 |
| stato tensionale | TESA | TESA | TESA | TESA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 9,73 | 9,73 | 9,73 | 9,73 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | - | - | - | - |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 389,00 | 389,00 | 389,00 | 389,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | - | - | - | - |
| coefficiente $\rho$ | - | - | - | - |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 389,00 | 389,00 | 389,00 | 389,00 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace della piattabanda inferiore | 800,00 | [mm] |
| Larghezza efficace dell'impiattamento inferiore | 0,00 | [mm] |

## H. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA - AREE EFFICACI

*H.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an,eff,2}$ | 714,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup,eff}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf,eff}$ | 800,00 | [mm] |
| $l_{p,sup,eff}$ | 600,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $l_{imp,inf,eff}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an,eff,1}$ | 476,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |




*H.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

## I. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA - AREE EFFICACI

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superic | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## L. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA EFFICACE

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,62 | -0,73 | 5,34 | 0,02 | -0,03 | 6,23 | 18,81 | 3,02 |
| Armatura superiore | 0,00 | 30,18 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 1,07 | 52,19 | 391,30 | 7,50 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 25,21 | -10,04 | 19,53 | 0,09 | 2,68 | 37,47 | 391,30 | 10,44 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 162,73 | 19,14 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -19,04 | 208,44 | 338,10 | 1,62 |
| Estradosso anima | 158,62 | 18,04 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -18,68 | 201,06 | 338,10 | 1,68 |
| Intradosso anima | -85,89 | -47,65 | -5,21 | -101,51 | -0,45 | 2,60 | -238,11 | -338,10 | 1,42 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -94,11 | -49,86 | -6,58 | -105,17 | -0,47 | 3,31 | -252,87 | -338,10 | 1,34 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 1,62 | -0,73 | 5,34 | 0,02 | 0,00 | 6,26 | 18,81 | 3,00 |
| Armatura superiore | 0,00 | 30,18 | -6,97 | 27,79 | 0,12 | 0,01 | 51,13 | 391,30 | 7,65 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 25,21 | -10,04 | 19,53 | 0,09 | 0,03 | 34,82 | 391,30 | 11,24 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | 162,73 | 19,14 | 36,12 | 9,45 | 0,04 | -0,22 | 227,26 | 338,10 | 1,49 |
| Estradosso anima | 158,62 | 18,04 | 35,44 | 7,61 | 0,03 | -0,22 | 219,52 | 338,10 | 1,54 |
| Intradosso anima | -85,89 | -47,65 | -5,21 | -101,51 | -0,45 | 0,03 | -240,68 | -338,10 | 1,40 |
| Intradosso piattabanda inferiore | -94,11 | -49,86 | -6,58 | -105,17 | -0,47 | 0,04 | -256,15 | -338,10 | 1,32 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**M. VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO**

M.1. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | 8,67 | 5,87 | 0,00 | 26,26 | 0,06 | 0,00 | 40,86 | 195,20 | 4,78 |

M.2. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | 8,67 | 5,87 | 0,00 | 26,26 | 0,06 | 0,00 | 40,86 | 195,20 | 4,78 |

**N. VERIFICA DI INSTABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi | 2.500,00 | [mm] | Spessore dell'ala di resistenza assiale minore | 20,00 | [mm] |
| Altezza efficace dell'anima | 1.190,00 | [mm] | Coefficiente di imbozzamento $k_\tau$ | 6,25 | [-] |
| Tensione critica euleriana dell'anima | 64,94 | [N/mm$^2$] | Tensione tangenziale critica dell'anima | 405,63 | [N/mm$^2$] |
| Parametro di snellezza dell'anima $\lambda_w$ | 1,78 | [-] | Coefficiente $\chi_w$ | 1,10 | [-] |
| Coefficiente $\eta$ | 1,25 | [-] | Rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | [-] |

**A favore di sicurezza non si considera il contributo irrigidente delle piattabande.**

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | RESISTENZA ALL'INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 1.123,65 | 5.628,53 | 5,01 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 1.123,65 | 5.628,53 | 5,01 |

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m] | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 1.123,65 | 649,37 | 32,47 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 1.123,65 | 649,37 | 32,47 |

| COMBINAZIONE | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 32,47 | 92,54 | 87,41 | 2,69 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 32,47 | 92,54 | 87,41 | 2,69 |

## 12.2.1.5 Concio 03A (T)

| AZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | | FASE III (breve durata) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | traffico veicolare | azione del vento | termica differenziale ($\Delta T_{positivo}$) | | termica differenziale ($\Delta T_{negativo}$) | |
| | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | effetto isostatico | effetto iperstatico |
| $N_k$ [kN] | 0,00 | 0,00 | 3.136,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.119,52 | 0,00 | -72,27 | 0,00 |
| $M_k$ [kNm] | -4,76 | 0,00 | 1.435,41 | 0,00 | -148,89 | -0,06 | -1.591,41 | 0,00 | -18,79 | 0,00 |
| $V_k$ [kN] | -19,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -315,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| γ | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| ψ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

**F. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA LORDA**

F.1. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,23 | -0,14 | 0,00 | -0,02 | -0,39 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -5,81 | -0,70 | 0,00 | 0,89 | -5,62 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -8,37 | -0,50 | 0,00 | 2,23 | -6,63 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,22 | 0,00 | 30,10 | -0,24 | 0,00 | -15,87 | 13,78 |
| Estradosso anima | -0,21 | 0,00 | 29,53 | -0,19 | 0,00 | -15,57 | 13,56 |
| Intradosso anima | 0,11 | 0,00 | -4,34 | 2,57 | 0,00 | 2,17 | 0,51 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,13 | 0,00 | -5,48 | 2,67 | 0,00 | 2,76 | 0,07 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,23 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,36 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -5,81 | -0,70 | 0,00 | 0,01 | -6,50 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -8,37 | -0,50 | 0,00 | 0,03 | -8,84 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,22 | 0,00 | 30,10 | -0,24 | 0,00 | -0,19 | 29,46 |
| Estradosso anima | -0,21 | 0,00 | 29,53 | -0,19 | 0,00 | -0,18 | 28,95 |
| Intradosso anima | 0,11 | 0,00 | -4,34 | 2,57 | 0,00 | 0,03 | -1,63 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,13 | 0,00 | -5,48 | 2,67 | 0,00 | 0,03 | -2,66 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,27 | -0,18 | 0,00 | -0,03 | -0,48 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 1,07 | -6,85 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 2,68 | -8,03 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -19,04 | 16,47 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -18,68 | 16,21 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 2,60 | 1,02 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 3,31 | 0,51 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,27 | -0,18 | 0,00 | 0,00 | -0,45 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 0,01 | -7,91 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 0,03 | -10,68 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -0,22 | 35,28 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -0,22 | 34,68 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 0,03 | -1,55 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 0,04 | -2,77 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

**E. AZIONI SOLLECITANTI**

| AZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | | FASE III (breve durata) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | traffico veicolare | azione del vento | termica differenziale ($\Delta T_{positivo}$) | | termica differenziale ($\Delta T_{negativo}$) | |
| | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | | | effetto isostatico | effetto iperstatico | effetto isostatico | effetto iperstatico |
| $N_k$ [kN] | 0,00 | 0,00 | 3.136,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.119,52 | 0,00 | -72,27 | 0,00 |
| $M_k$ [kNm] | -4,67 | 0,00 | 1.435,41 | 0,00 | -0,53 | -0,06 | -1.591,41 | 0,00 | -18,79 | 0,00 |
| $V_k$ [kN] | -19,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -2,18 | -0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| γ | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| ψ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

**F. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA LORDA**

F.1. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,23 | 0,00 | 0,00 | -0,02 | -0,25 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -5,81 | 0,00 | 0,00 | 0,89 | -4,92 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -8,37 | 0,00 | 0,00 | 2,23 | -6,14 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,21 | 0,00 | 30,10 | 0,00 | 0,00 | -15,87 | 14,02 |
| Estradosso anima | -0,21 | 0,00 | 29,53 | 0,00 | 0,00 | -15,57 | 13,76 |
| Intradosso anima | 0,11 | 0,00 | -4,34 | 0,01 | 0,00 | 2,17 | -2,05 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,12 | 0,00 | -5,48 | 0,01 | 0,00 | 2,76 | -2,59 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,23 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -5,81 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | -5,80 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -8,37 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | -8,34 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,21 | 0,00 | 30,10 | 0,00 | 0,00 | -0,19 | 29,70 |
| Estradosso anima | -0,21 | 0,00 | 29,53 | 0,00 | 0,00 | -0,18 | 29,14 |
| Intradosso anima | 0,11 | 0,00 | -4,34 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | -4,20 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,12 | 0,00 | -5,48 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | -5,32 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,27 | 0,00 | 0,00 | -0,03 | -0,30 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | 0,00 | 0,00 | 1,07 | -5,90 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | 0,00 | 0,00 | 2,68 | -7,36 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | 0,00 | 0,00 | -19,04 | 16,79 |
| Estradosso anima | -0,28 | 0,00 | 35,44 | 0,00 | 0,00 | -18,68 | 16,48 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 0,01 | 0,00 | 2,60 | -2,45 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 0,01 | 0,00 | 3,31 | -3,08 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,27 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | -6,96 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | -10,01 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 35,61 |
| Estradosso anima | -0,28 | 0,00 | 35,44 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 34,94 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | -5,02 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | -6,36 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - |

## G. CALCOLO DELLE SEZIONI EFFICACI

### G.1. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA SUPERIORI

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [ | 600,00 | 600,00 | 600,00 | 600,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 | 12.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | 13,78 | 29,46 | 16,47 | 35,28 |
| stato tensionale | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA | COMPRESSA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 14,45 | 14,45 | 14,45 | 14,45 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 289,00 | 289,00 | 289,00 | 289,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| coefficiente $\rho$ | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 243,30 | 243,30 | 243,30 | 243,30 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori [mm$^2$] | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 | 10.172,07 |

**Nel calcolo delle proprietà efficaci del sistema costituito da impiattamento e piattabanda superiori, la sezione si considera tutta efficiente in quanto rigidamente connessa alla soletta superiore mediante la piolatura.**

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace dell'impiattamento superiore | 0,00 | [mm] |
| Larghezza efficace della piattabanda superiore | 600,00 | [mm] |

### G.2. ANIMA

| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| altezza dell'anima [mm] | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 |
| spessore dell'anima [mm] | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 |
| area lorda dell'anima [mm$^2$] | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 |
| interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi a [mm] | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 | 2.500,00 |
| tensione $\sigma_1$ membratura all'estradosso [N/mm$^2$] | 13,56 | 28,95 | 16,21 | 34,68 |
| tensione $\sigma_2$ membratura all'intradosso [N/mm$^2$] | 0,51 | -1,63 | 1,02 | -1,55 |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 0,04 | -0,06 | 0,06 | -0,04 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto $\alpha = a/h_w$ | 2,10 | 2,10 | 2,10 | 2,10 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 7,38 | 8,02 | 7,22 | 7,94 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,86 | 0,83 | 0,87 | 0,83 |
| coefficiente $\rho$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| altezza efficace $h_{eff}$ [mm] | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 | 1.190,00 |
| altezza efficace $h_{eff,1}$ [mm] | 476,00 | 476,00 | 476,00 | 476,00 |
| altezza efficace $h_{eff,2}$ [mm] | 714,00 | 714,00 | 714,00 | 714,00 |
| area efficace dell'anima $A_{eff}$ [mm$^2$] | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 | 26.180,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Altezza efficace totale $h_{eff}$ dell'anima | 1.190,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,1}$ dell'anima | 476,00 | [mm] |
| Altezza efficace $h_{eff,2}$ dell'anima | 714,00 | [mm] |

### G.3. IMPIATTAMENTO E PIATTABANDA INFERIORI

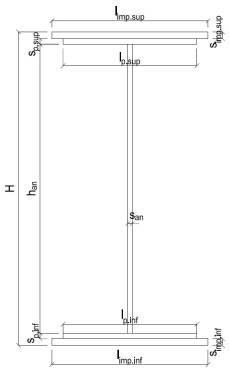
| PARAMETRO | COMBINAZIONI DI CARICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLE - $\Delta T_{positivo}$ | SLE - $\Delta T_{negativo}$ | SLU - $\Delta T_{positivo}$ | SLU - $\Delta T_{negativo}$ |
| larghezza media ponderata del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [m | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 |
| spessore medio del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm] | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| area lorda del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 |
| tensione massima $\sigma_1$ membratura [N/mm$^2$] | 0,07 | -2,66 | 0,51 | -2,77 |
| stato tensionale | COMPRESSA | TESA | COMPRESSA | TESA |
| coefficiente di variazione $\psi$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| rapporto c/t | 9,73 | 9,73 | 9,73 | 9,73 |
| coefficiente di imbozzamento $k_s$ | 0,43 | - | 0,43 | - |
| larghezza media ponderata del pannello c [mm] | 389,00 | 389,00 | 389,00 | 389,00 |
| spessore del pannello t [mm] | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| coefficiente $\lambda_p$ | 0,64 | - | 0,64 | - |
| coefficiente $\rho$ | 1,00 | - | 1,00 | - |
| larghezza efficace del pannello $c_{eff}$ | 389,00 | 389,00 | 389,00 | 389,00 |
| area efficace del sistema costituito da impiattamento e piattabanda inferiori [mm$^2$] | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 | 32.000,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Larghezza efficace della piattabanda inferiore | 800,00 | [mm] |
| Larghezza efficace dell'impiattamento inferiore | 0,00 | [mm] |

## H. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE METALLICA - AREE EFFICACI

*H.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | 1.250,00 | [mm] | $h_{an,eff,2}$ | 714,00 | [mm] |
| $l_{imp,sup,eff}$ | 0,00 | [mm] | $s_{p,an}$ | 22,00 | [mm] |
| $s_{imp,sup}$ | 0,00 | [mm] | $l_{p,inf,eff}$ | 800,00 | [mm] |
| $l_{p,sup,eff}$ | 600,00 | [mm] | $s_{p,inf}$ | 40,00 | [mm] |
| $s_{p,sup}$ | 20,00 | [mm] | $l_{imp,inf,eff}$ | 0,00 | [mm] |
| $h_{an,eff,1}$ | 476,00 | [mm] | $s_{imp,inf}$ | 0,00 | [mm] |




*H.2. CARATTERISTICHE INERZIALI*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 70.180,00 | [mm²] | $W_{imp,sup}$ | - | [mm³] |
| S | 3,214E+07 | [mm³] | $W_{p,sup}$ | 2,196E+07 | [mm³] |
| $Y_G$ | 458,03 | [mm] | $W_{an,sup}$ | 2,253E+07 | [mm³] |
| J | 1,739E+10 | [mm⁴] | $W_{an,inf}$ | -4,160E+07 | [mm³] |
| $J_t$ | 2,289E+07 | [mm⁴] | $W_{p,inf}$ | -3,797E+07 | [mm³] |
| $A_V$ | 27.500,00 | [mm²] | $W_{imp,inf}$ | - | [mm³] |

## I. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLA SEZIONE COMPOSTA - AREE EFFICACI

| *CARATTERISTICA GEOMETRICA/INERZIALE* | | *FASE I* | *FASE II (lunga durata)* | *FASE II (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di viscosità: | $\Phi(t_0,\infty)$ | - | 2,077 | 2,975 | - |
| Coefficiente di omogeneizzazione | n | - | 21,02 | 16,87 | 6,40 |
| Momento statico della sezione | S [m³] | 3,214E-02 | 1,194E-01 | 1,382E-01 | 2,938E-01 |
| Baricentro della sezione | $Y_G$ [m] | 0,458 | 0,903 | 0,949 | 1,147 |
| Area della sezione | A [m²] | 7,018E-02 | 1,322E-01 | 1,456E-01 | 2,562E-01 |
| Costante torsionale della sezione | $J_t$ [m⁴] | 2,289E-05 | 8,799E-04 | 1,091E-03 | 2,838E-03 |
| Momento di inerzia della sezione | J [m⁴] | 1,739E-02 | 4,729E-02 | 5,042E-02 | 6,406E-02 |
| Modulo di resistenza estradosso soletta | $W_{soletta}$ [m³] | - | 7,667E-02 | 8,837E-02 | 1,717E-01 |
| Modulo di resistenza armatura superiore | $W_{arm,sup}$ [m³] | - | 8,649E-02 | 1,007E-01 | 2,114E-01 |
| Modulo di resistenza armatura inferiore | $W_{arm,inf}$ [m³] | - | 1,035E-01 | 1,228E-01 | 3,007E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso impiattamento superio | $W_{imp,sup}$ [m³] | - | - | - | - |
| Modulo di resistenza estradosso piattabanda superiore | $W_{p,sup}$ [m³] | 2,196E-02 | 1,364E-01 | 1,678E-01 | 6,219E-01 |
| Modulo di resistenza estradosso anima | $W_{an,sup}$ [m³] | 2,253E-02 | 1,447E-01 | 1,797E-01 | 7,717E-01 |
| Modulo di resistenza intradosso anima | $W_{an,inf}$ [m³] | -4,160E-02 | -5,478E-02 | -5,544E-02 | -5,787E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso piattabanda inferiore | $W_{p,inf}$ [m³] | -3,797E-02 | -5,235E-02 | -5,311E-02 | -5,585E-02 |
| Modulo di resistenza intradosso impiattamento inferiore | $W_{imp,inf}$ [m³] | - | - | - | - |

## L. CALCOLO DELLE TENSIONI SULL'AREA EFFICACE

F.3. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,73 | -0,18 | 0,00 | -0,03 | -0,94 | -1,45 | 1,54 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 1,07 | -6,85 | -391,30 | 57,15 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 2,68 | -8,03 | -391,30 | 48,73 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -19,04 | 16,47 | 338,10 | 20,53 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -18,68 | 16,21 | 338,10 | 20,86 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 2,60 | 1,02 | 338,10 | 332,49 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 3,31 | 0,51 | 338,10 | 668,00 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

F.4. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| *SEZIONE* | *FASE I* | *FASE II-A (lunga durata)* | *FASE II-B (ritiro)* | *FASE III (breve durata)* | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm²] | $\sigma_{limite}$ [N/mm²] | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *traffico veicolare* | *azione del vento* | *azione termica* | | | |
| Estradosso soletta | 0,00 | 0,00 | -0,73 | -0,18 | 0,00 | 0,00 | -0,91 | -1,45 | 1,59 |
| Armatura superiore | 0,00 | 0,00 | -6,97 | -0,95 | 0,00 | 0,01 | -7,91 | -391,30 | 49,50 |
| Armatura inferiore | 0,00 | 0,00 | -10,04 | -0,67 | 0,00 | 0,03 | -10,68 | -391,30 | 36,64 |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Estradosso piattabanda superiore | -0,29 | 0,00 | 36,12 | -0,32 | 0,00 | -0,22 | 35,28 | 338,10 | 9,58 |
| Estradosso anima | -0,29 | 0,00 | 35,44 | -0,26 | 0,00 | -0,22 | 34,68 | 338,10 | 9,75 |
| Intradosso anima | 0,15 | 0,00 | -5,21 | 3,47 | 0,00 | 0,03 | -1,55 | -338,10 | 217,85 |
| Intradosso piattabanda inferiore | 0,17 | 0,00 | -6,58 | 3,60 | 0,00 | 0,04 | -2,77 | -338,10 | 122,07 |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**M. VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO**

M.1. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{positivo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | -0,96 | 0,00 | 0,00 | -15,48 | 0,00 | 0,00 | -16,44 | -195,20 | 11,87 |

M.2. STATO LIMITE ULTIMO PER FLESSIONE - $\Delta T_{negativo}$

| SEZIONE | FASE I | FASE II-A (lunga durata) | FASE II-B (ritiro) | FASE III (breve durata) | | | $\sigma_{totale}$ [N/mm$^2$] | $\sigma_{limite}$ [N/mm$^2$] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | traffico veicolare | azione del vento | azione termica | | | |
| Anima della trave metallica | -0,96 | 0,00 | 0,00 | -15,48 | 0,00 | 0,00 | -16,44 | -195,20 | 11,87 |

**N. VERIFICA DI INSTABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Interasse tra irrigidenti trasversali consecutivi | 2.500,00 | [mm] | Spessore dell'ala di resistenza assiale minore | 20,00 | [mm] |
| Altezza efficace dell'anima | 1.190,00 | [mm] | Coefficiente di imbozzamento $k_\tau$ | 6,25 | [-] |
| Tensione critica euleriana dell'anima | 64,94 | [N/mm$^2$] | Tensione tangenziale critica dell'anima | 405,63 | [N/mm$^2$] |
| Parametro di snellezza dell'anima $\lambda_w$ | 1,78 | [-] | Coefficiente $\chi_w$ | 1,10 | [-] |
| Coefficiente $\eta$ | 1,25 | [-] | Rapporto $\varepsilon$ | 0,81 | [-] |

**A favore di sicurezza non si considera il contributo irrigidente delle piattabande.**

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | RESISTENZA ALL'INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 452,06 | 5.628,53 | 12,45 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 452,06 | 5.628,53 | 12,45 |

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| COMBINAZIONE | AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA | SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m] | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 452,06 | 261,25 | 13,06 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 452,06 | 261,25 | 13,06 |

| COMBINAZIONE | SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN] | RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN] | FATTORE DI SICUREZZA |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 13,06 | 92,54 | 87,41 | 6,69 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 13,06 | 92,54 | 87,41 | 6,69 |

### 12.2.2 STATO LIMITE DI FATICA

#### 12.2.2.1 Generalità

Per le strutture soggette a carichi ciclici deve essere verificata la resistenza a fatica imponendo che:

$\Delta_d \leq \Delta_R / \gamma_{Mf}$

Essendo:

- $\Delta_d$ l'escursione di tensione (effettiva o equivalente allo spettro di tensione) prodotta dalle azioni cicliche di progetto che inducono fenomeni di fatica con coefficienti parziali $\gamma_f$ **= 1,00**
- $\Delta_R$ la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi, come desumibile dalle curve S-N di resistenza a fatica, per il numero totale di cicli di sollecitazione N applicati durante la vita di progetto richiesta
- $\gamma_{Mf}$ il coefficiente parziale definito dal D.M. 17.01.2018 - Tab. 4.2.XI

Per la valutazione della resistenza a fatica verrà utilizzato il "*Criterio della vita utile a fatica*", che richiede che vengano adottati dettagli costruttivi e livelli di sforzo tali da garantire, per la vita a fatica prevista, gli stessi livelli di sicurezza adottati per le altre verifiche agli stati limite ultimi, indipendentemente da procedure di ispezione e manutenzione durante la vita di esercizio.
I valori dei coefficienti $\gamma_{Mf}$ adottati nelle verifiche sono stati desunti dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Tab. 4.2.XI:

**Tab. 4.2.XI** - *Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica.*

| | Conseguenze della rottura | |
|---|---|---|
| | Conseguenze moderate | Conseguenze significative |
| Strutture poco sensibili alla rottura per fatica | $\gamma_{Mf} = 1,00$ | $\gamma_{Mf} = 1,15$ |
| Strutture sensibili alla rottura per fatica | $\gamma_{Mf} = 1,15$ | $\gamma_{Mf} = 1,35$ |

La struttura è considerata sensibile alla rottura per fatica con conseguenze significative. Il coefficiente $\gamma_{Mf}$ è assunto pertanto pari a **1,35**.

#### 12.2.2.2 Verifiche per vita illimitata

Le verifiche a fatica per vita illimitata verranno condotte, per elementi caratterizzati da limite di fatica ad ampiezza costante, controllando che il massimo delta di tensione $\Delta\sigma_{max}=(\sigma_{max}-\sigma_{min})$ indotto nell'elemento dallo spettro di carico significativo risulti minore del limite di fatica dell'elemento stesso.

### 12.2.2.3 Carichi utilizzati

Il carico accidentale del traffico viene valutato secondo lo schema n. 1 riportato nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", al paragrafo 5.1.4.3, fig. 5.1.4.

La carreggiata risulta divisa in corsie convenzionale che presentano ciascuna una larghezza pari a **3,00 m**.

La carreggiata presenta una larghezza complessiva pari a **11,99 m**, il numero di corsie convenzionali presenti risulta pertanto:

**$n_{corsie}$ = int(w/3,00) = int(11,99/3,00) = int(3,99) = 3 corsie convenzionali**

Trattandosi di un viadotto di **1ª Categoria** su ciascuna corsia convenzionale verranno applicati i seguenti carichi mobili da traffico:

- 1ª corsia convenzionale

  $Q_{1a}$ = 2 x 210 kN disposti come in figura
  $q_{1a}$ = 2,70 kN/m$^2$ x 3,00 m = 22,50 kN/m

- 2ª corsia convenzionale

  $Q_{1b}$ = 2 x 140 kN disposti come in figura
  $q_{1b}$ = 0,75 kN/m$^2$ x 3,00 m = 2,25 kN/m

- 3ª corsia convenzionale

  $Q_{1c}$ = 2 x 70 kN disposti come in figura
  $q_{1c}$ = 0,75 kN/m$^2$ x 3,00 m = 2,25 kN/m

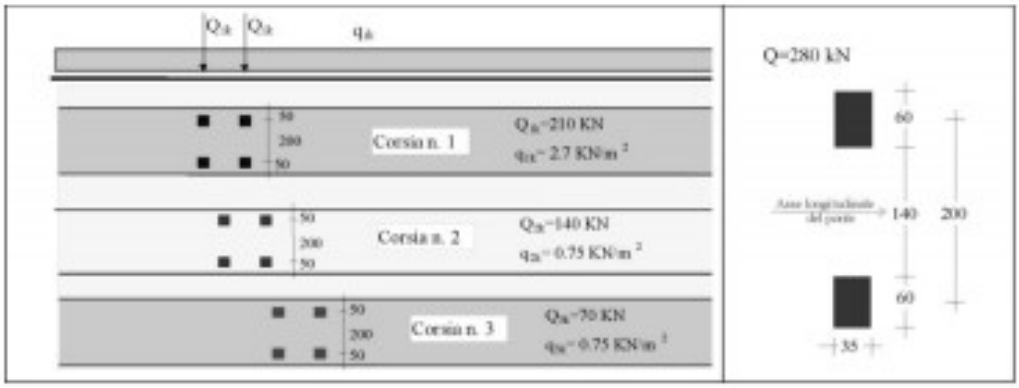
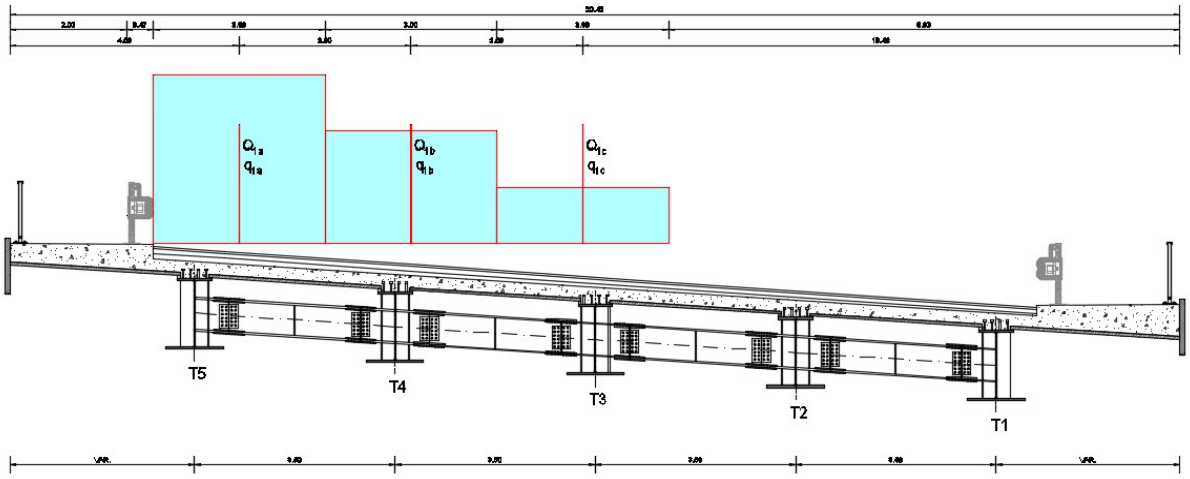


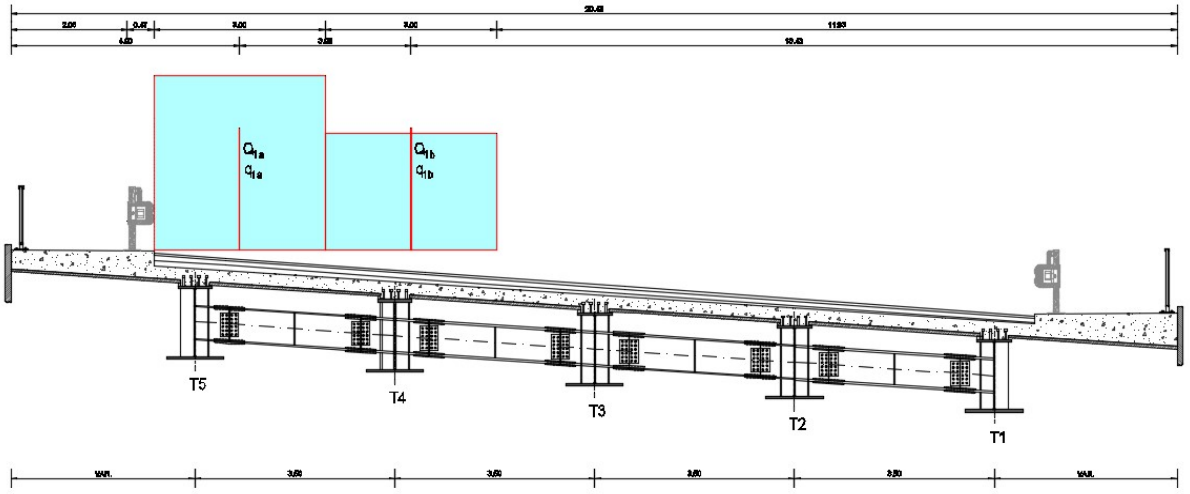

**Fig. 5.1.4** - *Modello di carico di fatica 1*

Sono state considerate tre differenti disposizioni dei carichi viaggianti da traffico.

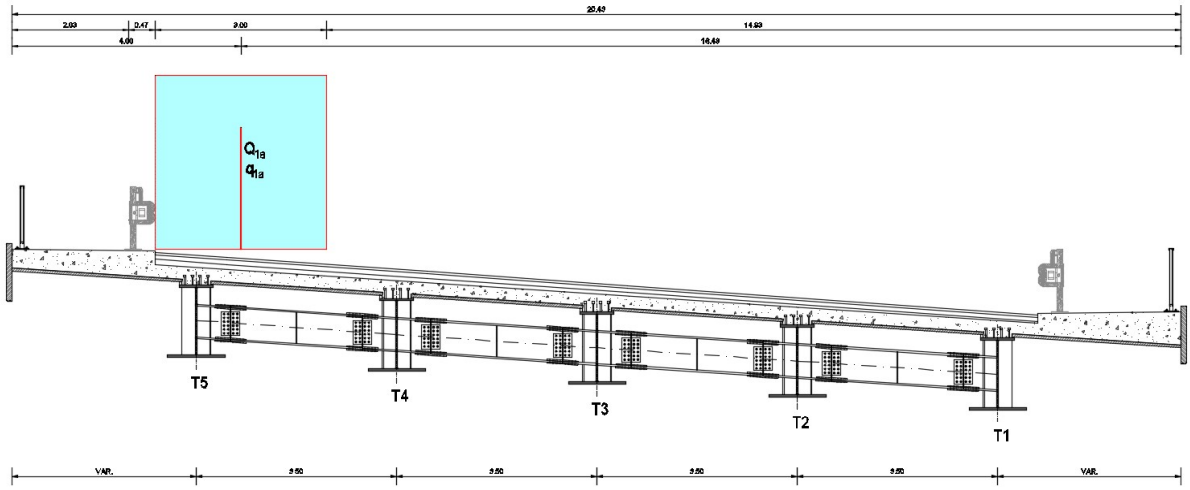
## CONDIZIONE 1




## CONDIZIONE 2

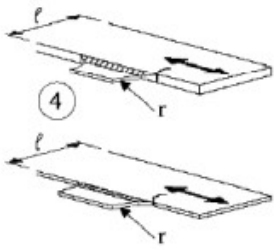
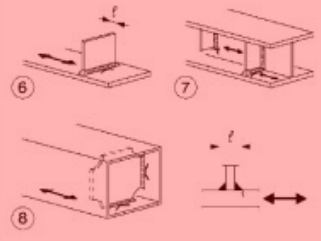
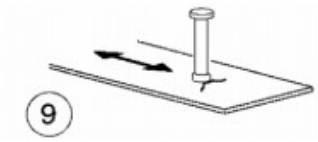


CONDIZIONE 3



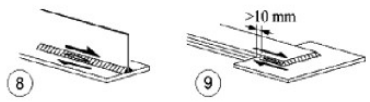
### 12.2.2.4 Valutazione del limite di fatica per le travi principali

La classe di dettaglio cui fanno capo le piattabande e le anime delle travi principali dell'impalcato soggette a tensione normale è stata desunta dalla Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP. – Tab. C4.2.XV:

| Classe del dettaglio | Dettaglio costruttivo | Descrizione | Requisiti |
|---|---|---|---|
| 90 (a)<br>71 (b)<br>50 (c) |  | 4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r.<br>La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3).<br>La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r.<br>(a) r ≥ L/3 o r >150 mm<br>(b) L/3 >r ≥ L/6<br>(c) r < L/6 | Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura |
| 40 | | 5) Come saldato, senza raccordo di transizione | |
| 80 (a)<br>71 (b) |  | Attacchi trasversali<br>6) Saldati a una piastra<br>7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta<br>8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda<br>(a) ℓ ≤ 50 mm<br>(b) 50< ℓ ≤ 80 mm<br>Le classi sono valide anche per nervature anulari | 6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti<br>7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali |
| 80 |  | 9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra | |

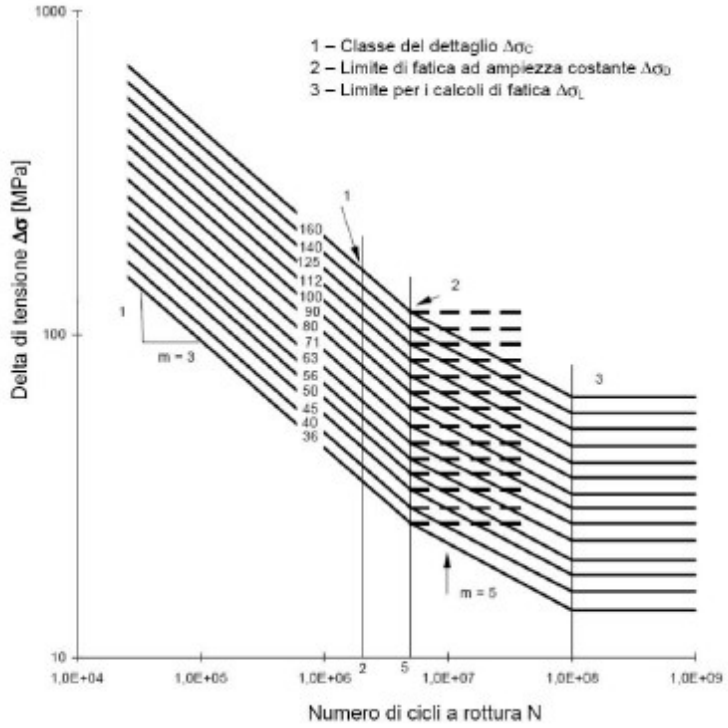
Si considera per le piattabande e le anime soggette a tensione normale una classe di dettaglio pari a **80**.

La classe di dettaglio cui fanno capo le anime delle travi principali dell'impalcato soggette a tensione tangenziale è stata desunta dalla Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP. – Tab. C4.2.XVI.b:

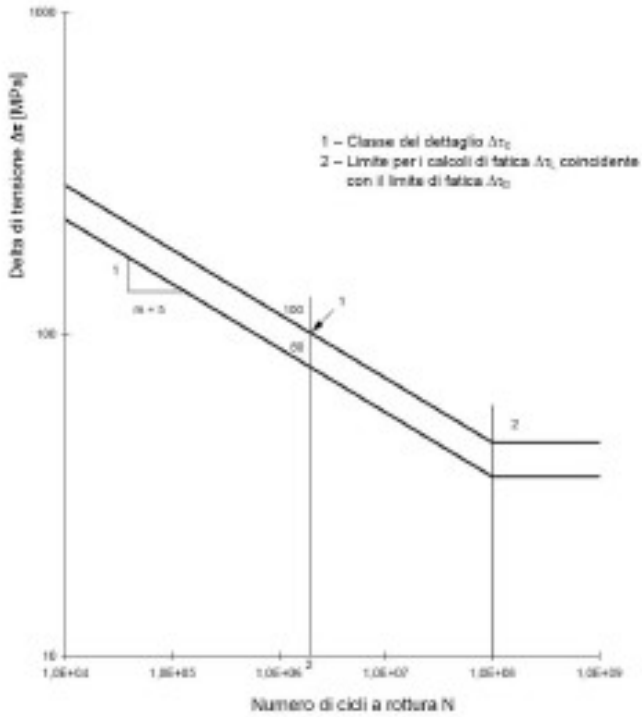
| Classe del dettaglio | Dettaglio costruttivo | Descrizione | Requisiti |
|---|---|---|---|
| 80 |  | 8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnessione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate<br>9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali | 8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone<br>9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra |

Si considera per le anime soggette a tensione tangenziale una classe di dettaglio pari a **80**.

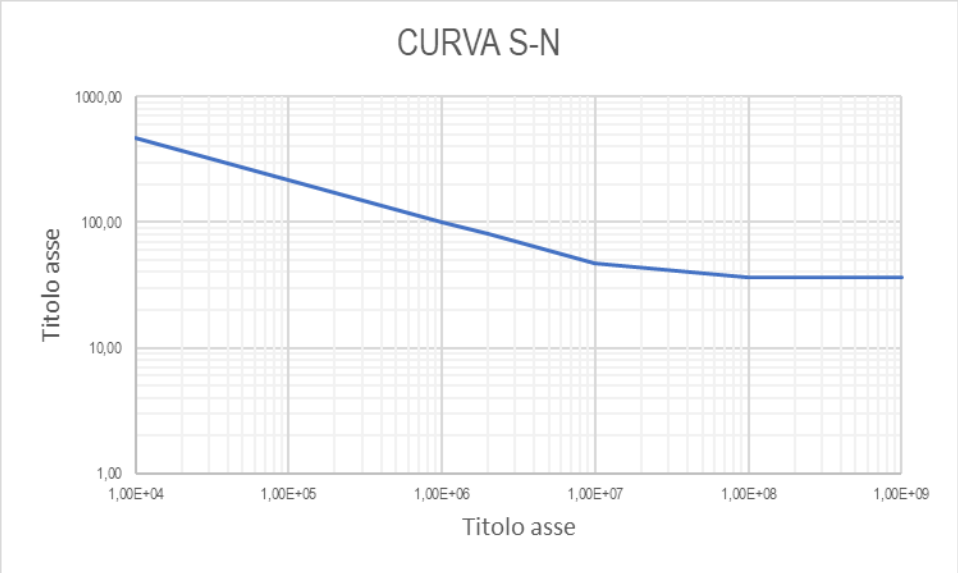
I limiti di fatica per elementi soggetti ad azione normale vengono determinati sulla base delle curve S-N riportate nella Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP. – Par. C4.2.4.1.4.3:




I limiti di fatica per elementi soggetti ad azione tangenziale vengono determinati sulla base delle curve S-N riportate nella Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP. – Par. C4.2.4.1.4.3:



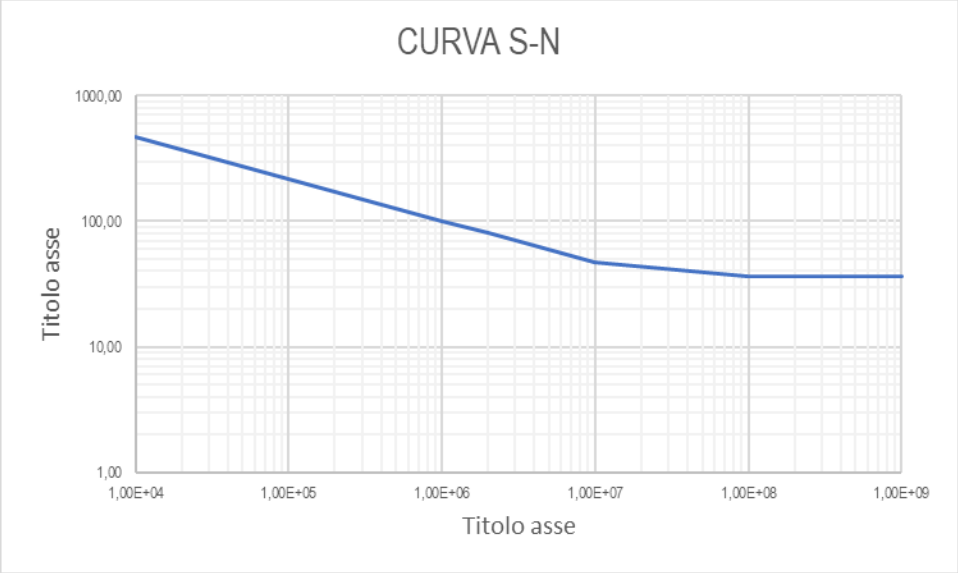
Per le piattabande e le anime delle travi principali soggette a tensione normale la curva S-N risulta la seguente:




Il valore del limite di fatica ad ampiezza costante utilizzato nelle verifiche delle piattabande è assunto pari a:

**$\Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}$ = 0,737 x 80,00 / 1,35 = 43,67 N/mm$^2$**

Per le anime delle travi principali soggette a tensione tangenziale la curva S-N risulta la seguente:




Il valore del limite di fatica ad ampiezza costante utilizzato nelle verifiche delle anime è assunto pari a:

**$\Delta\tau_L/\gamma_{Mf}$ = 0,457 x 80,00 / 1,35 = 27,08 N/mm$^2$**

Riepilogo delle verifiche a fatica – Trave di bordo T1

Come accennato in precedenza, l'ampiezza dei $\Delta\sigma_p$ di tensione viene calcolata sulla base di $\sigma_{max}$ e $\sigma_{min}$ derivanti dalla combinazione di carico a fatica, elaborata con riferimento a EN 1992-1-1 cap. 6.8.3.(2), che prevede la sovrapposizione di una componente non ciclica delle sollecitazioni, derivata dalla combinazione allo Stato Limite di Esercizio - Frequente, con la componente ciclica, derivata dall'inviluppo delle sollecitazioni dovute al transito dei veicoli (secondo lo schema di carico definito nei paragrafi precedenti).

**CONCIO 01A (TESTATA)**

| SEZIONE | TRAVE T1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | |
| | MAX | MIN | $\Delta\sigma$ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -0,70 | -0,70 | 0,00 | 27,08 |
| Estradosso piattabanda superiore | 29,89 | 29,89 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Estradosso anima | 29,33 | 29,33 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso anima | -4,23 | -4,23 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -5,36 | -5,36 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | |

**CONCIO 01A (GIUNTO)**

| SEZIONE | TRAVE T1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | |
| | MAX | MIN | $\Delta\sigma$ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -9,78 | -10,34 | 0,56 | 27,08 |
| Estradosso piattabanda superiore | 161,51 | 161,24 | 0,28 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Estradosso anima | 157,20 | 156,98 | 0,22 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso anima | -99,36 | -96,39 | 2,97 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -107,98 | -104,90 | 3,08 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | |

**CONCIO 02A**

| SEZIONE | TRAVE T1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | |
| | MAX | MIN | $\Delta\sigma$ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -0,36 | 1,01 | 0,65 | 27,08 |
| Estradosso piattabanda superiore | 193,04 | 192,47 | 0,58 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Estradosso anima | 188,20 | 187,68 | 0,52 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso anima | -97,62 | -94,61 | 3,01 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -102,46 | -99,39 | 3,07 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | -109,73 | -106,57 | 3,16 | 43,67 | POSITIVA | | | | |

**CONCIO 03A (GIUNTO)**

| SEZIONE | TRAVE T1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | |
| | MAX | MIN | $\Delta\sigma$ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | 10,34 | 9,78 | 0,56 | 27,08 |
| Estradosso piattabanda superiore | 161,51 | 161,24 | 0,28 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Estradosso anima | 157,20 | 156,98 | 0,22 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso anima | -99,36 | -96,39 | 2,97 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -107,98 | -104,90 | 3,08 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | |

**CONCIO 03A (TESTATA)**

| SEZIONE | TRAVE T1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | |
| | MAX | MIN | $\Delta\sigma$ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -0,70 | -0,70 | 0,00 | 27,08 |
| Estradosso piattabanda superiore | 29,89 | 29,89 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Estradosso anima | 29,33 | 29,33 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso anima | -4,23 | -4,23 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -5,36 | -5,36 | 0,00 | 43,67 | POSITIVA | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | |

Come è possibile notare dall'esame della tabella sopra riportata, la sicurezza a fatica dei dettagli di carpenteria appare soddisfatta.

### 12.2.2.5 Riepilogo delle verifiche a fatica – Trave di bordo T5

Come accennato in precedenza, l'ampiezza dei $\Delta\sigma_p$ di tensione viene calcolata sulla base di $\sigma_{max}$ e $\sigma_{min}$ derivanti dalla combinazione di carico a fatica, elaborata con riferimento a EN 1992-1-1 cap. 6.8.3.(2), che prevede la sovrapposizione di una componente non ciclica delle sollecitazioni, derivata dalla combinazione allo Stato Limite di Esercizio - Frequente, con la componente ciclica, derivata dall'inviluppo delle sollecitazioni dovute al transito dei veicoli (secondo lo schema di carico definito nei paragrafi precedenti).

**CONCIO 01A (TESTATA)**

| SEZIONE | TRAVE T5 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | | |
| | MAX | MIN | Δσ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | Δτ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -0,71 | -8,49 | 7,78 | 27,08 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | 26,52 | 26,35 | 0,16 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Estradosso anima | 26,02 | 25,88 | 0,13 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso anima | -3,74 | -1,97 | 1,77 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -4,74 | -2,91 | 1,84 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | | |

**CONCIO 01A (GIUNTO)**

| SEZIONE | TRAVE T5 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | | |
| | MAX | MIN | Δσ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | Δτ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -5,65 | -22,11 | 16,46 | 27,08 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | 159,90 | 156,16 | 3,74 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Estradosso anima | 155,06 | 152,04 | 3,02 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso anima | -133,40 | -93,19 | 40,21 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -143,10 | -101,43 | 41,67 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | | |

**CONCIO 02A**

| SEZIONE | TRAVE T5 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | | |
| | MAX | MIN | Δσ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | Δτ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | 7,97 | -7,88 | 0,10 | 27,08 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | 197,01 | 189,41 | 7,61 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Estradosso anima | 191,50 | 184,68 | 6,82 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso anima | -133,84 | -94,24 | 39,60 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -139,36 | -98,97 | 40,39 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | -147,63 | -106,06 | 41,57 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |

**CONCIO 03A (GIUNTO)**

| SEZIONE | TRAVE T5 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | | |
| | MAX | MIN | Δσ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | Δτ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | 21,10 | 4,70 | 16,40 | 27,08 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | 162,84 | 159,02 | 3,82 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Estradosso anima | 157,90 | 154,82 | 3,08 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso anima | -136,22 | -95,19 | 41,03 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -146,11 | -103,60 | 42,51 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | | |

**CONCIO 03A (TESTATA)**

| SEZIONE | TRAVE T5 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TENSIONE NORMALE | | | | | TENSIONE TANGENZIALE | | | | |
| | MAX | MIN | Δσ | $\Delta\sigma_{lim}$ | VERIFICA | MAX | MIN | Δτ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | - | - | - | 43,67 | - | -0,71 | -8,49 | 7,78 | 27,08 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | 26,52 | 26,35 | 0,16 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Estradosso anima | 26,02 | 25,88 | 0,13 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso anima | -3,74 | -1,97 | 1,77 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | -4,74 | -2,91 | 1,84 | 43,67 | POSITIVA | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | - | - | - | 43,67 | - | | | | | |

Come è possibile notare dall'esame della tabella sopra riportata, la sicurezza a fatica dei dettagli di carpenteria appare soddisfatta.

### 12.2.3 VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ E CALCOLO DELLA CONTROMONTA

Di seguito si riportano i valori delle frecce massime verticali in corrispondenza delle travi principali per i seguenti casi di carico:

- Pesi propri strutturali (carpenteria metallica + soletta)
- Carichi permanenti portati
- Carichi accidentali da traffico

Di seguito sono riepilogati i valori massimi delle frecce desunti dal modello di calcolo:

**Trave di bordo T1:**

| | |
|---|---|
| Pesi propri strutturali (carpenteria metallica + soletta): | 54,56 mm |
| Carichi permanenti portati: | 19,08 mm |
| Carichi accidentali da traffico: | 22,82 mm |

**Trave centrale T2:**

| | |
|---|---|
| Pesi propri strutturali (carpenteria metallica + soletta): | 48,62 mm |
| Carichi permanenti portati: | 10,09 mm |
| Carichi accidentali da traffico: | 22,82 mm |

**Trave centrale T3:**

| | |
|---|---|
| Pesi propri strutturali (carpenteria metallica + soletta): | 46,39 mm |
| Carichi permanenti portati: | 7,04 mm |
| Carichi accidentali da traffico: | 22,82 mm |

**Trave centrale T4:**

| | |
|---|---|
| Pesi propri strutturali (carpenteria metallica + soletta): | 48,99 mm |
| Carichi permanenti portati: | 8,59 mm |
| Carichi accidentali da traffico: | 22,82 mm |

**Trave di bordo T5:**

| | |
|---|---|
| Pesi propri strutturali (carpenteria metallica + soletta): | 55,46 mm |
| Carichi permanenti portati: | 14,56 mm |
| Carichi accidentali da traffico: | 22,82 mm |

Viene prevista una contromonta di valore pari alla deformazione indotta dai carichi permanenti di fase 1 e fase 2 oltre il 25% della deformazione indotta dai carichi accidentali.
Di seguito si riporta il valore della contromonta considerando i valori massimi delle frecce calcolate per le diverse travate:

| | |
|---|---|
| T1: | 79,35 mm |
| T2: | 64,42 mm |
| T3: | 59,14 mm |
| T4: | 63,29 mm |
| T5: | 75,73 mm |

## 12.3 VERIFICA IN FASE DI MONTAGGIO

Le verifiche di instabilità flesso-torsionale in fase di montaggio non sono necessarie in quanto sono previsti dei controventi di montaggio superiori che tengono in posizione la flangia compressa (*EN 1993-2:2006 Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti in acciaio).*

## 12.4 VERIFICA DELLA CONNESSIONE TRAVE – SOLETTA

Le specifiche relative al detaling della connessione trave-soletta sono contenute all'interno del D.M. 17.01.2018, paragrafo 4.3.4.3.1; per quanto riguarda i riferimenti *Eurocodice*, i cui contenuti sono perfettamente identici, si fa riferimento a EN 1994-1 *e* EN 1994-2.

Le piolature adottate sono tutte a completo ripristino di resistenza.

Il ciclo di verifica delle piolature comprende i seguenti step:

*a.* *Verifica delle tensioni allo Stato Limite Ultimo (valido per sezioni con $\eta_1 \leq 1$)*

La verifica si esegue mediante la determinazione del massimo scorrimento "elastico" a taglio allo Stato Limite Ultimo sul singolo piolo e il confronto di tale valore con la portanza del piolo sempre allo Stato Limite Ultimo:

- $v_{L,Ed}(x) = V_{Ed}(x) \cdot S/J$
- $v_{L,Ed}^{SLU} \leq 1{,}10 \cdot (N_i / I_i) \cdot P_{Rd}$

nelle quali cui *S* e *J* sono univocamente definite sulla base delle caratteristiche "*uncracked*".

Tale approccio risulta ovviamente valido solamente per le sezioni che non attingono alle proprie risorse extra elastiche ($\eta_1 \leq 1$).

*b.* *Verifica delle tensioni allo Stato Limite di Esercizio (tasso di sfruttamento)*

La verifica si esegue mediante la determinazione del massimo scorrimento "elastico" a taglio allo Stato Limite di Esercizio (combinazione caratteristica) sul singolo piolo, nell'ambito delle condizioni $\boldsymbol{M_{max}/M_{min}}$, $\boldsymbol{V_{max}/V_{min}}$ e il confronto di tale valore con la portanza del piolo allo sempre allo Stato Limite di Esercizio.

Il criterio di confronto dello scorrimento con la portanza della piolatura è identico a quello visto per la verifica delle tensioni Stato Limite Ultimo, con ovvia sostituzione delle grandezze:

- $v_{L,Ed}^{SLE} \leq (N_i / I_i) \cdot k_s \cdot P_{Rd}$

### 12.4.1 CARATTERISTICHE PIOLATURA CORRENTE

Per le travi in esame, si prevede l'adozione di pioli Ø19 mm, di altezza massima pari a 200 mm nel numero di:

| PIOLATURA TRAVI PRINCIPALI | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CONCIO | N. | L [m] | $n_{pioli}$/fila | $i_{pioli}$ [m] | $n_{pioli}$ | $P_{piolo}$ [kg] | P [kg] |
| TR1-1 | 1 | 8,52 | 4 | 0,20 | 170 | 0,52 | 88,61 |
| TR1-2 | 1 | 8,93 | 3 | 0,20 | 134 | 0,52 | 69,65 |
| TR1-3 | 1 | 8,27 | 4 | 0,20 | 165 | 0,52 | 86,01 |
| TR2-1 | 1 | 8,59 | 4 | 0,20 | 172 | 0,52 | 89,34 |
| TR2-2 | 1 | 9,04 | 3 | 0,20 | 136 | 0,52 | 70,51 |
| TR2-3 | 1 | 8,40 | 4 | 0,20 | 168 | 0,52 | 87,36 |
| TR3-1 | 1 | 8,66 | 4 | 0,20 | 173 | 0,52 | 90,06 |
| TR3-2 | 1 | 9,15 | 3 | 0,20 | 137 | 0,52 | 71,37 |
| TR3-3 | 1 | 8,54 | 4 | 0,20 | 171 | 0,52 | 88,82 |
| TR4-1 | 1 | 8,73 | 4 | 0,20 | 175 | 0,52 | 90,79 |
| TR4-2 | 1 | 9,26 | 3 | 0,20 | 139 | 0,52 | 72,23 |
| TR4-3 | 1 | 8,67 | 4 | 0,20 | 173 | 0,52 | 90,17 |
| TR5-1 | 1 | 8,80 | 4 | 0,20 | 176 | 0,52 | 91,52 |
| TR5-2 | 1 | 9,37 | 3 | 0,20 | 141 | 0,52 | 73,09 |
| TR5-3 | 1 | 8,80 | 4 | 0,20 | 176 | 0,52 | 91,52 |

Nell'ambito del calcolo dei contributi resistenti si valuta separatamente la rottura del piolo e la rottura del calcestruzzo che lo circonda, sulla base dei seguenti parametri:

- **$f_u$ = 450,00 N/mm²** (tensione ultima del gambo del piolo)
- **$\gamma_v$ = 1,25** (coefficiente di sicurezza piolo)
- **$f_{ck}$ = 33,20 N/mm²** (resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo)
- **$E_{cm}$ = 32.811,24 N/mm²** (modulo elastico secante del calcestruzzo)

### 12.4.2 DETAILING

Per i limiti dimensionali da rispettare nel "detailing" delle piolature si fa riferimento ai contenuti del D.M. 17.01.2018, paragrafo 4.3.4.3.1.1, della Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP, paragrafo C4.3.4.3.1.1 e dell'Eurocodice EN 1994-2, paragrafo 6.6.5. Di seguito si evidenzia il riferimento specifico a quest'ultimo testo normativo, maggiormente puntuale.

Il massimo interasse longitudinale delle piolature dovrà rispettare le seguenti limitazioni (EN1994-2 6.6.5.5(2)):

- $e_{max}/t_f \leq 22 \cdot \varepsilon$
- $e_{max}/t_f \leq 22 \cdot 0{,}81 = 17{,}90$

Essendo:

- **$t_{f,max}$ = 20 mm** (spessore della piattabanda superiore)

Si ottiene:

- **$e_{max}$ = 358,00 mm**

La distanza delle file longitudinali di pioli dal bordo dovrà rispettare le seguenti limitazioni (EN1994-2 6.6.5.5(2)):

- $e_d/t_f \leq 9 \cdot \varepsilon$
- $e_d/t_f \leq 9 \cdot 0{,}81 = 7{,}29$

Risulta pertanto:

- $\mathbf{e_{d,max} = 7{,}29 \cdot 30{,}00 = 158{,}00\ mm}$

Inoltre dovrà risultare:

$\mathbf{e_{d,min} = 25{,}0\ mm}$ (1994-2 6.6.5.6(2))

La minima distanza misurata tra la parte inferiore della testa del piolo e lo strato inferiore di armatura dovrà essere **> 40 mm**.

I pioli dovranno rispettare le seguenti limitazioni dimensionali:

- $h_p \geq 3{,}00 \cdot d$ EN 1994-2 6.6.5.7.(1); $h_p$ = altezza piolo
- $d_t \geq 1{,}50 \cdot d$ EN 1994-2 6.6.5.7.(2); $d_t$ = diametro testa
- $h_t \geq 0{,}40 \cdot d$ EN 1994-2 6.6.5.7.(2); $h_t$ = altezza testa
- $d_w \leq 1{,}50 \cdot t_{sup}$ EN 1994-2 6.6.5.7.(3); $d_w$ = diam. saldatura, $t_{sup}$ = spessore flangia (*)
  (*) per piattabande in tensione, soggette a fatica
- $d_w \leq 2{,}50 \cdot t_{sup}$ EN 1994-2 6.6.5.7.(5); $d_w$ = diam. saldatura, $t_{sup}$ = spessore flangia (**)
  (**) per tutte le piattabande

L'interasse dei pioli dovrà rispettare le seguenti limitazioni dimensionali (EN1994-2 6.6.5.7.(4)):

- $s_{lg} \geq 5{,}00 \cdot d_p$ in direzione longitudinale
- $s_{tv} \geq 2{,}50 \cdot d_p$ in direzione trasversale

### 12.4.3 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

La tabella seguente riepiloga per le combinazioni allo Stato Limite Ultimo il calcolo dei massimi rapporti di sfruttamento "elastici" $v_{L,Ed} / (N/l_i \times P_{rd})$ nelle sezioni critiche.

Considerando che le travi hanno le medesime caratteristiche geometriche, si illustreranno le verifiche della trave T5, la quale risulta essere la più sollecitata.

#### 12.4.3.1 Concio 01A (T)

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| *COMBINAZIONE* | *AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA [kN]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 452,30 | 261,39 | 13,07 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 452,30 | 261,39 | 13,07 |

| *COMBINAZIONE* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN]* | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 13,07 | 92,54 | 87,41 | **6,69** |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 13,07 | 92,54 | 87,41 | **6,69** |

#### 12.4.3.2 Concio 01A (G)

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| *COMBINAZIONE* | *AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA [kN]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 92,70 | 53,57 | 2,68 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 92,70 | 53,57 | 2,68 |

| *COMBINAZIONE* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN]* | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 2,68 | 92,54 | 87,41 | **32,63** |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 2,68 | 92,54 | 87,41 | **32,63** |

## 12.4.3.3 Concio 02A

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 15 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 3 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,671E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,505E+07 | [mm$^3$] |

| *COMBINAZIONE* | *AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA [kN]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 496,50 | 266,27 | 17,75 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 496,50 | 266,27 | 17,75 |

| *COMBINAZIONE* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN]* | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 17,75 | 92,54 | 87,41 | 4,92 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 17,75 | 92,54 | 87,41 | 4,92 |

## 12.4.3.4 Concio 03A (G)

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| *COMBINAZIONE* | *AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA [kN]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 1.123,65 | 649,37 | 32,47 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 1.123,65 | 649,37 | 32,47 |

| *COMBINAZIONE* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN]* | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 32,47 | 92,54 | 87,41 | 2,69 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 32,47 | 92,54 | 87,41 | 2,69 |

## 12.4.3.5 Concio 03A (T)

**O. VERIFICA DELLA PIOLATURA**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro di un singolo piolo | 19,00 | [mm] | Passo longitudinale delle file di pioli | 200,00 | [mm] |
| Altezza del singolo piolo | 200,00 | [mm] | Numero di pioli per metro lineare | 20 | [-] |
| Numero di pioli per fila | 4 | [-] | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Momento di inerzia della sezione omogeneizzata (carichi di lunga durata) | 4,729E+10 | [mm$^4$] |
| Momento statico della soletta in calcestruzzo rispetto all'intera sezione omogeneizzata | 2,733E+07 | [mm$^3$] |

| *COMBINAZIONE* | *AZIONE TAGLIANTE DI CALCOLO AGENTE SULL'ANIMA [kN]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO UNITARIO [kN/m]* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* |
|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 452,06 | 261,25 | 13,06 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 452,06 | 261,25 | 13,06 |

| *COMBINAZIONE* | *SFORZO DI SCORRIMENTO PER SINGOLO PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLA RECISIONE DEL GAMBO DEL PIOLO [kN]* | *RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO DEL CLS [kN]* | *FATTORE DI SICUREZZA* |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{positivo}$ | 13,06 | 92,54 | 87,41 | 6,69 |
| STATO LIMITE ULTIMO - $\Delta T_{negativo}$ | 13,06 | 92,54 | 87,41 | 6,69 |

### 12.4.4 STATO LIMITE DI FATICA

#### 12.4.4.1 Generalità

Per le strutture soggette a carichi ciclici deve essere verificata la resistenza a fatica imponendo che:

$\Delta_d \leq \Delta_R / \gamma_{Mf}$

Essendo:

- $\Delta_d$ l'escursione di tensione (effettiva o equivalente allo spettro di tensione) prodotta dalle azioni cicliche di progetto che inducono fenomeni di fatica con coefficienti parziali $\gamma_f$ **= 1,00**
- $\Delta_R$ la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi, come desumibile dalle curve S-N di resistenza a fatica, per il numero totale di cicli di sollecitazione N applicati durante la vita di progetto richiesta
- $\gamma_{Mf}$ il coefficiente parziale definito dal D.M. 14.01.2008 - Tab. 4.2.XI

Per la valutazione della resistenza a fatica verrà utilizzato il "*Criterio della vita utile a fatica*", che richiede che vengano adottati dettagli costruttivi e livelli di sforzo tali da garantire, per la vita a fatica prevista, gli stessi livelli di sicurezza adottati per le altre verifiche agli stati limite ultimi, indipendentemente da procedure di ispezione e manutenzione durante la vita di esercizio.
I valori dei coefficienti $\gamma_{Mf}$ adottati nelle verifiche sono stati desunti dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Tab. 4.2.XI:

**Tab. 4.2.XI** - *Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica.*

| | Conseguenze della rottura | |
|---|---|---|
| | Conseguenze moderate | Conseguenze significative |
| Strutture poco sensibili alla rottura per fatica | $\gamma_{Mf} = 1,00$ | $\gamma_{Mf} = 1,15$ |
| Strutture sensibili alla rottura per fatica | $\gamma_{Mf} = 1,15$ | $\gamma_{Mf} = 1,35$ |

Per gli elementi secondari (piolature) è stato assunto un coefficiente $\gamma_{Mf}$ = **1,15**.

#### 12.4.4.2 Verifiche per vita illimitata

Le verifiche a fatica per vita illimitata verranno condotte, per elementi caratterizzati da limite di fatica ad ampiezza costante, controllando che il massimo delta di tensione $\Delta\sigma_{max}=(\sigma_{max}-\sigma_{min})$ indotto nell'elemento dallo spettro di carico significativo risulti minore del limite di fatica dell'elemento stesso.

### 12.4.4.3 Carichi utilizzati

Il carico accidentale del traffico viene valutato secondo lo schema n. 1 riportato nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", al paragrafo 5.1.4.3, fig. 5.1.4.

La carreggiata risulta divisa in corsie convenzionale che presentano ciascuna una larghezza pari a **3,00 m**.

La carreggiata presenta una larghezza complessiva pari a **11,99 m**, il numero di corsie convenzionali presenti risulta pertanto:

**$n_{corsie}$ = int(w/3,00) = int(11,99/3,00) = int(3,99) = 3 corsie convenzionali**

Trattandosi di un viadotto di **1ª Categoria** su ciascuna corsia convenzionale verranno applicati i seguenti carichi mobili da traffico:

- 1ª corsia convenzionale

  $Q_{1a}$ = 2 x 210 kN disposti come in figura
  $q_{1a}$ = 7,50 kN/m$^2$ x 3,00 m = 22,50 kN/m

- 2ª corsia convenzionale

  $Q_{1b}$ = 2 x 140 kN disposti come in figura
  $q_{1b}$ = 0,75 kN/m$^2$ x 3,00 m = 2,25 kN/m

- 3ª corsia convenzionale

  $Q_{1c}$ = 2 x 70 kN disposti come in figura
  $q_{1c}$ = 0,75 kN/m$^2$ x 3,00 m = 2,25 kN/m

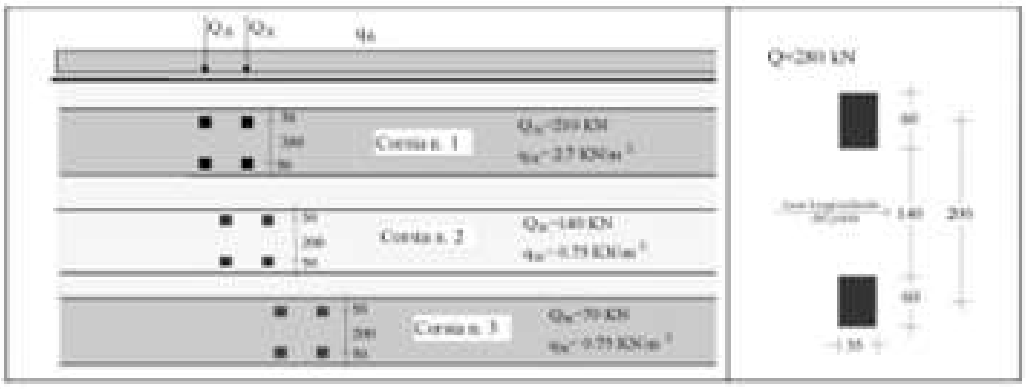
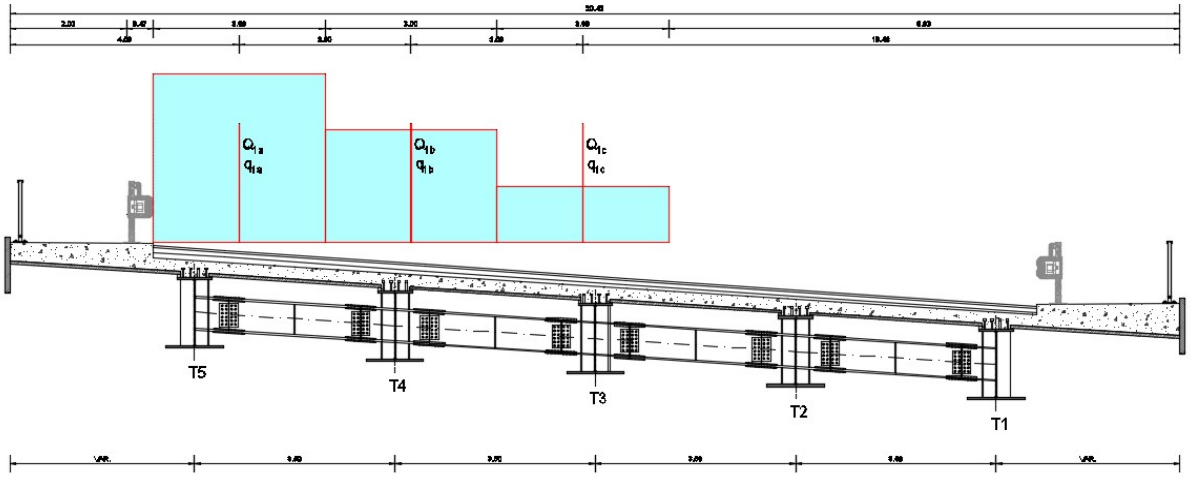


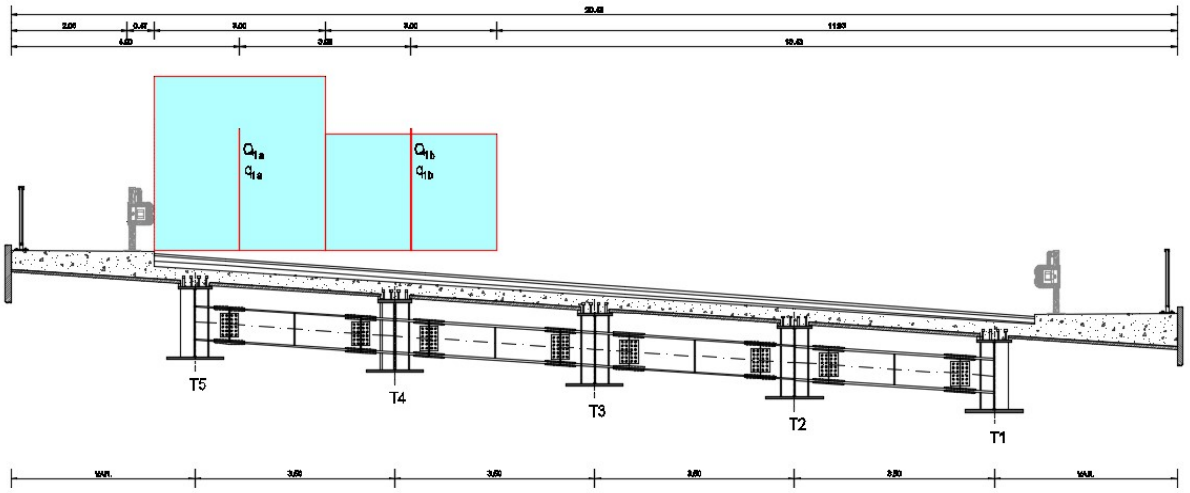
**Fig. 5.1.4** - *Modello di carico di fatica 1*

Sono state considerate tre differenti disposizioni dei carichi viaggianti da traffico.

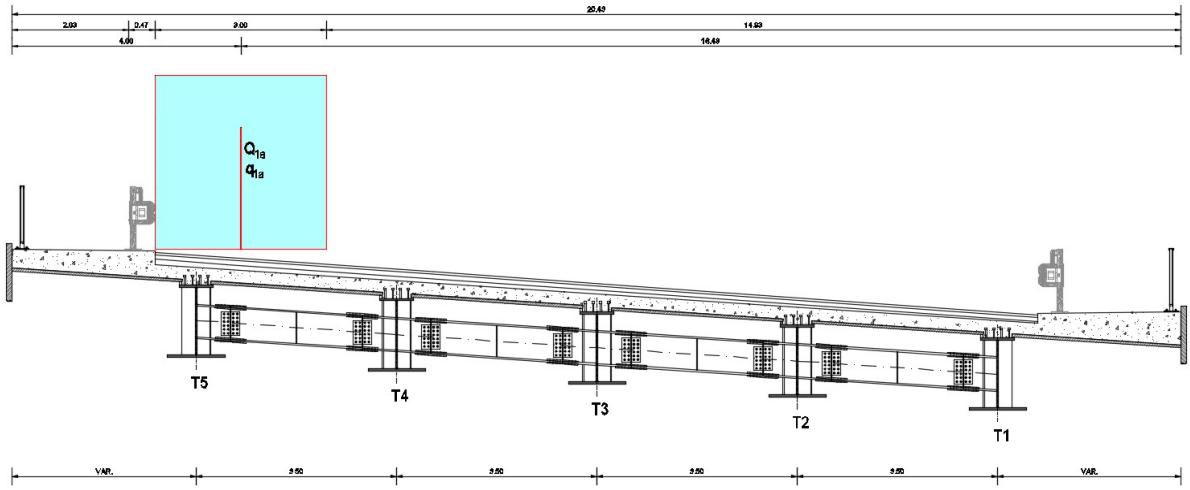
## CONDIZIONE 1




## CONDIZIONE 2

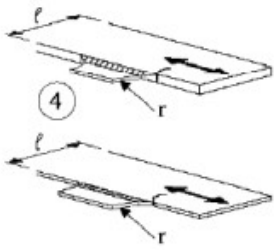
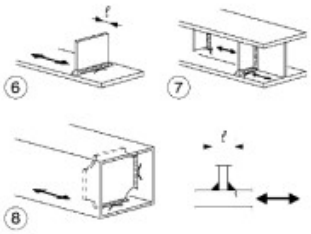
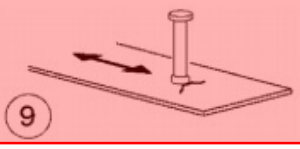


CONDIZIONE 3



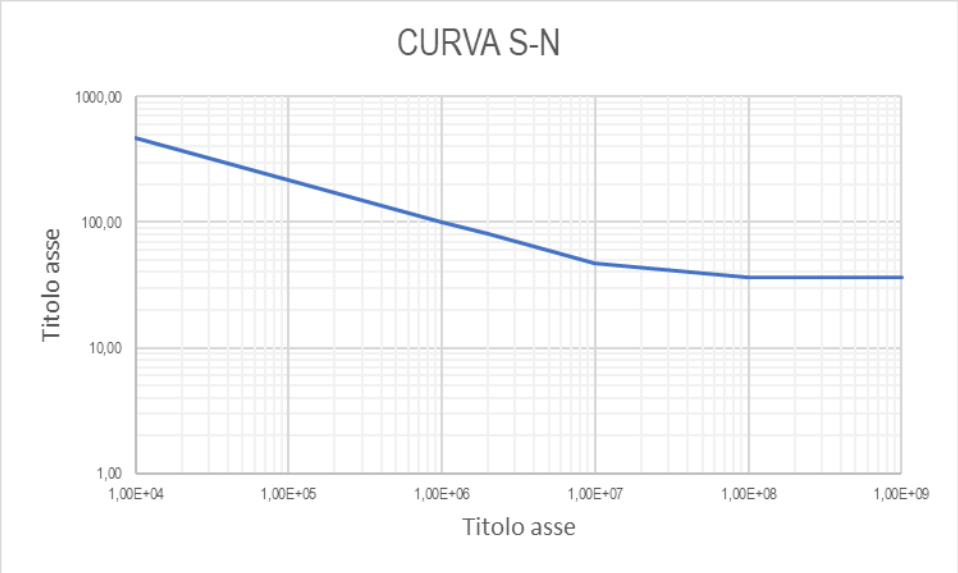
### 12.4.4.4 Valutazione del limite di fatica per le travi principali

La classe di dettaglio cui fanno capo le piattabande e le anime delle travi principali dell'impalcato soggette a tensione normale è stata desunta dalla Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP. – Tab. C4.2.XV:

| Classe del dettaglio | Dettaglio costruttivo | Descrizione | Requisiti |
|---|---|---|---|
| 90 (a)<br>71 (b)<br>50 (c) |  | 4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r.<br>La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3).<br>La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r.<br>(a) r ≥ L/3 o r >150 mm<br>(b) L/3 >r ≥ L/6<br>(c) r < L/6 | Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura |
| 40 | | 5) Come saldato, senza raccordo di transizione | |
| 80 (a)<br>71 (b) |  | Attacchi trasversali<br>6) Saldati a una piastra<br>7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta<br>8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda<br>(a) ℓ ≤ 50 mm<br>(b) 50< ℓ ≤ 80 mm<br>Le classi sono valide anche per nervature anulari | 6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti<br>7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali |
| 80 |  | 9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra | |

Si considera per le piattabande e le anime soggette a tensione normale una classe di dettaglio pari a **80**.

Per le piolature delle travi principali soggette a tensione tangenziale la curva S-N risulta la seguente:




Il valore del limite di fatica ad ampiezza costante utilizzato nelle verifiche delle anime è assunto pari a:

**$\Delta\tau_L/\gamma_{Mf}$ = 0,832 x 80,00 / 1,15 = 57,91 N/mm$^2$**

## 12.4.4.5 Riepilogo delle verifiche a fatica – Trave T1

**CONCIO 01A (TESTATA)**

| SEZIONE | TRAVE T1 PIOLATURA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | 0,56 | 0,56 | 1,96 | 1,96 | 0,00 | 57,91 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | | | | | | | |
| Estradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | | | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**CONCIO 01A (GIUNTO)**

| SEZIONE | TRAVE T1 PIOLATURA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | 7,77 | 8,22 | 27,42 | 28,99 | 1,57 | 57,91 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | | | | | | | |
| Estradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | | | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**CONCIO 02A**

| SEZIONE | TRAVE T1 PIOLATURA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | 0,35 | 0,99 | 1,25 | 3,50 | 2,25 | 57,91 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | | | | | | | |
| Estradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | | | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**CONCIO 03A (GIUNTO)**

| SEZIONE | TRAVE T1 PIOLATURA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | 8,22 | 7,77 | 28,99 | 27,42 | 1,57 | 57,91 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | | | | | | | |
| Estradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | | | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**CONCIO 03A (TESTATA)**

| SEZIONE | TRAVE T1 PIOLATURA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore | 0,56 | 0,56 | 1,96 | 1,96 | 0,00 | 57,91 | POSITIVA |
| Estradosso piattabanda superiore | | | | | | | |
| Estradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso anima | | | | | | | |
| Intradosso piattabanda inferiore | | | | | | | |
| Intradosso impiattamento inferiore | | | | | | | |

## 12.4.4.6 Riepilogo delle verifiche a fatica – Trave T5

| CONCIO 01A (TESTATA) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEZIONE | TRAVE T5 PIOLATURA | | | | | | |
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore<br>Estradosso piattabanda superiore<br>Estradosso anima<br>Intradosso anima<br>Intradosso piattabanda inferiore<br>Intradosso impiattamento inferiore | 0,57 | 6,75 | 2,00 | 23,80 | 21,80 | 57,91 | POSITIVA |
| | | | | | | | |

| CONCIO 01A (GIUNTO) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEZIONE | TRAVE T5 PIOLATURA | | | | | | |
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore<br>Estradosso piattabanda superiore<br>Estradosso anima<br>Intradosso anima<br>Intradosso piattabanda inferiore<br>Intradosso impiattamento inferiore | 4,49 | 17,57 | 15,84 | 61,96 | 46,12 | 57,91 | POSITIVA |
| | | | | | | | |

| CONCIO 02A | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEZIONE | TRAVE T5 PIOLATURA | | | | | | |
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore<br>Estradosso piattabanda superiore<br>Estradosso anima<br>Intradosso anima<br>Intradosso piattabanda inferiore<br>Intradosso impiattamento inferiore | 7,84 | 7,74 | 27,65 | 27,32 | 0,33 | 57,91 | POSITIVA |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| CONCIO 03A (GIUNTO) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEZIONE | TRAVE T5 PIOLATURA | | | | | | |
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore<br>Estradosso piattabanda superiore<br>Estradosso anima<br>Intradosso anima<br>Intradosso piattabanda inferiore<br>Intradosso impiattamento inferiore | 16,77 | 3,74 | 59,15 | 13,19 | 45,96 | 57,91 | POSITIVA |
| | | | | | | | |

| CONCIO 03A (TESTATA) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEZIONE | TRAVE T5 PIOLATURA | | | | | | |
| | MAX SCORR. | MIN SCORR. | $\tau_{(MAX\ SCORR.)}$ | $\tau_{(MIN\ SCORR.)}$ | $\Delta\tau$ | $\Delta\tau_{lim}$ | VERIFICA |
| Estradosso impiattamento superiore<br>Estradosso piattabanda superiore<br>Estradosso anima<br>Intradosso anima<br>Intradosso piattabanda inferiore<br>Intradosso impiattamento inferiore | 0,57 | 6,75 | 2,00 | 23,80 | 21,80 | 57,91 | POSITIVA |

# 12.5 TRASVERSI FLESSIONALI

## 12.5.1 RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE

### 12.5.1.1 Trasversi di testata

| ELEMENTO | DISTANZA | PESI PROPRI STRUTTURALI - $g_1$ | | | CARICHI PERMANENTI PORTALI - $g_2$ | | | RITIRO - ε | | | CARICO ACCIDENTALE TRAFFICO (MAX) - $q_1$ | | | CARICO ACCIDENTALE TRAFFICO (MIN) - $q_1$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] |
| TR.C-1-1 | 0 | 0,00 | -3,56 | -0,44 | 0,00 | -17,42 | -51,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 128,35 | 366,91 | 0,00 | -27,86 | -69,38 |
| TR.C-1-1 | 1,75 | 0,00 | 0,65 | 2,11 | 0,00 | -17,42 | -20,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 128,35 | 198,88 | 0,00 | -27,86 | -84,39 |
| TR.C-1-1 | 3,5 | 0,00 | 4,86 | -2,71 | 0,00 | -17,42 | 9,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 128,35 | 30,85 | 0,00 | -27,86 | -99,39 |
| TR.C-1-2 | 0 | 0,00 | -4,43 | -3,01 | 0,00 | 4,47 | 10,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 46,82 | 0,00 | -35,81 | -84,01 |
| TR.C-1-2 | 1,75 | 0,00 | -0,22 | 1,05 | 0,00 | 4,47 | 2,77 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 44,30 | 0,00 | -35,81 | -46,46 |
| TR.C-1-2 | 3,5 | 0,00 | 4,00 | -2,25 | 0,00 | 4,47 | -5,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 41,78 | 0,00 | -35,81 | -8,92 |
| TR.C-1-3 | 0 | 0,00 | -4,00 | -2,27 | 0,00 | -5,40 | -4,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,32 | 15,57 | 0,00 | -15,01 | -37,42 |
| TR.C-1-3 | 1,75 | 0,00 | 0,21 | 1,05 | 0,00 | -5,40 | 5,33 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,32 | 16,65 | 0,00 | -15,01 | -22,01 |
| TR.C-1-3 | 3,5 | 0,00 | 4,42 | -3,00 | 0,00 | -5,40 | 14,78 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,32 | 17,74 | 0,00 | -15,01 | -6,61 |
| TR.C-1-4 | 0 | 0,00 | -4,88 | -2,73 | 0,00 | 25,40 | 13,84 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,19 | 14,47 | 0,00 | -10,32 | -15,11 |
| TR.C-1-4 | 1,75 | 0,00 | -0,66 | 2,12 | 0,00 | 25,40 | -30,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,19 | 18,60 | 0,00 | -10,32 | -22,16 |
| TR.C-1-4 | 3,5 | 0,00 | 3,55 | -0,40 | 0,00 | 25,40 | -75,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,19 | 22,73 | 0,00 | -10,32 | -29,21 |
| TR.C-2-1 | 0 | 0,00 | -3,56 | -0,44 | 0,00 | -17,42 | -51,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 128,35 | 366,91 | 0,00 | -27,86 | -69,37 |
| TR.C-2-1 | 1,75 | 0,00 | 0,65 | 2,11 | 0,00 | -17,42 | -20,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 128,35 | 198,88 | 0,00 | -27,86 | -84,38 |
| TR.C-2-1 | 3,5 | 0,00 | 4,86 | -2,71 | 0,00 | -17,42 | 9,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 128,35 | 30,85 | 0,00 | -27,86 | -99,39 |
| TR.C-2-2 | 0 | 0,00 | -4,43 | -3,01 | 0,00 | 4,47 | 10,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 46,82 | 0,00 | -35,81 | -84,01 |
| TR.C-2-2 | 1,75 | 0,00 | -0,22 | 1,05 | 0,00 | 4,47 | 2,77 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 44,30 | 0,00 | -35,81 | -46,47 |
| TR.C-2-2 | 3,5 | 0,00 | 4,00 | -2,25 | 0,00 | 4,47 | -5,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 41,78 | 0,00 | -35,81 | -8,92 |
| TR.C-2-3 | 0 | 0,00 | -4,00 | -2,27 | 0,00 | -5,40 | -4,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,33 | 15,57 | 0,00 | -15,01 | -37,41 |
| TR.C-2-3 | 1,75 | 0,00 | 0,21 | 1,05 | 0,00 | -5,40 | 5,33 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,33 | 16,65 | 0,00 | -15,01 | -22,01 |
| TR.C-2-3 | 3,5 | 0,00 | 4,42 | -3,00 | 0,00 | -5,40 | 14,78 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,33 | 17,74 | 0,00 | -15,01 | -6,61 |
| TR.C-2-4 | 0 | 0,00 | -4,88 | -2,73 | 0,00 | 25,40 | 13,84 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,18 | 14,47 | 0,00 | -10,32 | -15,11 |
| TR.C-2-4 | 1,75 | 0,00 | -0,66 | 2,12 | 0,00 | 25,40 | -30,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,18 | 18,60 | 0,00 | -10,32 | -22,16 |
| TR.C-2-4 | 3,5 | 0,00 | 3,55 | -0,40 | 0,00 | 25,40 | -75,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,18 | 22,73 | 0,00 | -10,32 | -29,20 |

| ELEMENTO | DISTANZA | AZIONE LONG. DEL VENTO (+) - $q_{5,a}$ | | | AZIONE LONG. DEL VENTO (-) - $q_{5,b}$ | | | AZIONE TRASV. DEL VENTO (+) - $q_{6,a}$ | | | AZIONE TRASV. DEL VENTO (-) - $q_{6,b}$ | | | TERMICA DIFFERENZIALE (+) - $q_{3,a}$ | | | TERMICA DIFFERENZIALE (-) - $q_{3,b}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] |
| TR.C-1-1 | 0 | 0,00 | 0,26 | 0,60 | 0,00 | -0,26 | -0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-1 | 1,75 | 0,00 | 0,26 | 0,15 | 0,00 | -0,26 | -0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-1 | 3,5 | 0,00 | 0,26 | -0,30 | 0,00 | -0,26 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-2 | 0 | 0,00 | 0,08 | 0,14 | 0,00 | -0,08 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-2 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | -0,01 | 0,00 | -0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-2 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | -0,16 | 0,00 | -0,08 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-3 | 0 | 0,00 | 0,08 | 0,16 | 0,00 | -0,08 | -0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-3 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,00 | -0,08 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-3 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | -0,14 | 0,00 | -0,08 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-4 | 0 | 0,00 | 0,26 | 0,30 | 0,00 | -0,26 | -0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-4 | 1,75 | 0,00 | 0,26 | -0,15 | 0,00 | -0,26 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-1-4 | 3,5 | 0,00 | 0,26 | -0,60 | 0,00 | -0,26 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-1 | 0 | 0,00 | 0,26 | 0,60 | 0,00 | -0,26 | -0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-1 | 1,75 | 0,00 | 0,26 | 0,15 | 0,00 | -0,26 | -0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-1 | 3,5 | 0,00 | 0,26 | -0,30 | 0,00 | -0,26 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-2 | 0 | 0,00 | 0,08 | 0,14 | 0,00 | -0,08 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-2 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | -0,01 | 0,00 | -0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-2 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | -0,16 | 0,00 | -0,08 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-3 | 0 | 0,00 | 0,08 | 0,16 | 0,00 | -0,08 | -0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-3 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,00 | -0,08 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-3 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | -0,14 | 0,00 | -0,08 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-4 | 0 | 0,00 | 0,26 | 0,30 | 0,00 | -0,26 | -0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-4 | 1,75 | 0,00 | 0,26 | -0,15 | 0,00 | -0,26 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.C-2-4 | 3,5 | 0,00 | 0,26 | -0,60 | 0,00 | -0,26 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

## 12.5.1.2 Trasversi correnti

| ELEMENTO | DISTANZA | PESI PROPRI STRUTTURALI - $g_1$ | | | CARICHI PERMANENTI PORTALI - $g_2$ | | | RITIRO - ε | | | CARICO ACCIDENTALE TRAFFICO (MAX) - q | | | CARICO ACCIDENTALE TRAFFICO (MIN) - q | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] |
| TR.T-1-1 | 0 | 0,00 | 9,27 | 0,14 | 0,00 | 2,91 | -34,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 74,38 | 190,85 | 0,00 | -20,57 | -22,14 |
| TR.T-1-1 | 1,75 | 0,00 | 11,79 | -18,29 | 0,00 | 2,91 | -39,36 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 74,38 | 125,95 | 0,00 | -20,57 | -49,97 |
| TR.T-1-1 | 3,5 | 0,00 | 14,30 | -41,11 | 0,00 | 2,91 | -44,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 74,38 | 61,04 | 0,00 | -20,57 | -77,80 |
| TR.T-1-2 | 0 | 0,00 | -1,62 | -41,02 | 0,00 | -1,69 | -39,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,51 | 93,30 | 0,00 | -24,08 | -69,86 |
| TR.T-1-2 | 1,75 | 0,00 | 0,90 | -40,39 | 0,00 | -1,69 | -36,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,51 | 74,42 | 0,00 | -24,08 | -69,31 |
| TR.T-1-2 | 3,5 | 0,00 | 3,41 | -44,16 | 0,00 | -1,69 | -33,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,51 | 55,54 | 0,00 | -24,08 | -68,77 |
| TR.T-1-3 | 0 | 0,00 | -3,92 | -44,15 | 0,00 | 6,05 | -33,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,85 | 39,40 | 0,00 | -10,49 | -60,30 |
| TR.T-1-3 | 1,75 | 0,00 | -1,41 | -39,49 | 0,00 | 6,05 | -44,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,85 | 23,80 | 0,00 | -10,49 | -52,68 |
| TR.T-1-3 | 3,5 | 0,00 | 1,10 | -39,22 | 0,00 | 6,05 | -55,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,85 | 8,21 | 0,00 | -10,49 | -45,07 |
| TR.T-1-4 | 0 | 0,00 | -13,78 | -39,30 | 0,00 | -3,66 | -62,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,68 | 11,53 | 0,00 | -9,00 | -39,84 |
| TR.T-1-4 | 1,75 | 0,00 | -11,27 | -17,39 | 0,00 | -3,66 | -56,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,68 | 6,15 | 0,00 | -9,00 | -28,68 |
| TR.T-1-4 | 3,5 | 0,00 | -8,75 | 0,13 | 0,00 | -3,66 | -49,81 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,68 | 0,77 | 0,00 | -9,00 | -17,52 |
| TR.T-2-1 | 0 | 0,00 | 15,64 | 0,30 | 0,00 | 9,48 | -35,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,33 | 197,10 | 0,00 | -24,60 | -20,74 |
| TR.T-2-1 | 1,75 | 0,00 | 18,15 | -29,27 | 0,00 | 9,48 | -51,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,33 | 136,63 | 0,00 | -24,60 | -56,65 |
| TR.T-2-1 | 3,5 | 0,00 | 20,66 | -63,23 | 0,00 | 9,48 | -68,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,33 | 76,16 | 0,00 | -24,60 | -92,56 |
| TR.T-2-2 | 0 | 0,00 | -0,03 | -63,02 | 0,00 | -1,32 | -63,69 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,24 | 114,75 | 0,00 | -23,65 | -82,58 |
| TR.T-2-2 | 1,75 | 0,00 | 2,48 | -65,17 | 0,00 | -1,32 | -61,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,24 | 93,03 | 0,00 | -23,65 | -84,36 |
| TR.T-2-2 | 3,5 | 0,00 | 5,00 | -71,71 | 0,00 | -1,32 | -59,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,24 | 71,32 | 0,00 | -23,65 | -86,14 |
| TR.T-2-3 | 0 | 0,00 | -5,77 | -71,71 | 0,00 | 8,24 | -59,68 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,65 | 52,45 | 0,00 | -10,92 | -76,10 |
| TR.T-2-3 | 1,75 | 0,00 | -3,26 | -63,80 | 0,00 | 8,24 | -74,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,65 | 31,33 | 0,00 | -10,92 | -67,85 |
| TR.T-2-3 | 3,5 | 0,00 | -0,75 | -60,29 | 0,00 | 8,24 | -88,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,65 | 10,21 | 0,00 | -10,92 | -59,59 |
| TR.T-2-4 | 0 | 0,00 | -19,87 | -60,48 | 0,00 | -12,84 | -96,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,60 | 13,56 | 0,00 | -11,36 | -53,57 |
| TR.T-2-4 | 1,75 | 0,00 | -17,36 | -27,90 | 0,00 | -12,84 | -73,76 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,60 | 7,31 | 0,00 | -11,36 | -36,74 |
| TR.T-2-4 | 3,5 | 0,00 | -14,85 | 0,28 | 0,00 | -12,84 | -51,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,60 | 1,07 | 0,00 | -11,36 | -19,92 |
| TR.T-3-1 | 0 | 0,00 | 15,64 | 0,30 | 0,00 | 9,48 | -35,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,33 | 197,10 | 0,00 | -24,60 | -20,74 |
| TR.T-3-1 | 1,75 | 0,00 | 18,15 | -29,27 | 0,00 | 9,48 | -51,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,33 | 136,63 | 0,00 | -24,60 | -56,65 |
| TR.T-3-1 | 3,5 | 0,00 | 20,66 | -63,23 | 0,00 | 9,48 | -68,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,33 | 76,16 | 0,00 | -24,60 | -92,56 |
| TR.T-3-2 | 0 | 0,00 | -0,03 | -63,02 | 0,00 | -1,32 | -63,69 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,24 | 114,75 | 0,00 | -23,65 | -82,58 |
| TR.T-3-2 | 1,75 | 0,00 | 2,48 | -65,17 | 0,00 | -1,32 | -61,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,24 | 93,03 | 0,00 | -23,65 | -84,36 |
| TR.T-3-2 | 3,5 | 0,00 | 5,00 | -71,71 | 0,00 | -1,32 | -59,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,24 | 71,32 | 0,00 | -23,65 | -86,14 |
| TR.T-3-3 | 0 | 0,00 | -5,77 | -71,71 | 0,00 | 8,24 | -59,68 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,65 | 52,45 | 0,00 | -10,92 | -76,10 |
| TR.T-3-3 | 1,75 | 0,00 | -3,26 | -63,80 | 0,00 | 8,24 | -74,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,65 | 31,33 | 0,00 | -10,92 | -67,85 |
| TR.T-3-3 | 3,5 | 0,00 | -0,75 | -60,29 | 0,00 | 8,24 | -88,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,65 | 10,21 | 0,00 | -10,92 | -59,59 |
| TR.T-3-4 | 0 | 0,00 | -19,87 | -60,48 | 0,00 | -12,84 | -96,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,60 | 13,56 | 0,00 | -11,36 | -53,57 |
| TR.T-3-4 | 1,75 | 0,00 | -17,36 | -27,90 | 0,00 | -12,84 | -73,76 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,60 | 7,31 | 0,00 | -11,36 | -36,74 |
| TR.T-3-4 | 3,5 | 0,00 | -14,85 | 0,28 | 0,00 | -12,84 | -51,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,60 | 1,07 | 0,00 | -11,36 | -19,92 |
| TR.T-4-1 | 0 | 0,00 | 9,27 | 0,14 | 0,00 | 2,91 | -34,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 74,38 | 190,84 | 0,00 | -20,57 | -22,14 |
| TR.T-4-1 | 1,75 | 0,00 | 11,79 | -18,29 | 0,00 | 2,91 | -39,36 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 74,38 | 125,94 | 0,00 | -20,57 | -49,97 |
| TR.T-4-1 | 3,5 | 0,00 | 14,30 | -41,11 | 0,00 | 2,91 | -44,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 74,38 | 61,04 | 0,00 | -20,57 | -77,80 |
| TR.T-4-2 | 0 | 0,00 | -1,62 | -41,02 | 0,00 | -1,69 | -39,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,51 | 93,30 | 0,00 | -24,08 | -69,86 |
| TR.T-4-2 | 1,75 | 0,00 | 0,90 | -40,39 | 0,00 | -1,69 | -36,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,51 | 74,42 | 0,00 | -24,08 | -69,31 |
| TR.T-4-2 | 3,5 | 0,00 | 3,41 | -44,16 | 0,00 | -1,69 | -33,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,51 | 55,54 | 0,00 | -24,08 | -68,77 |
| TR.T-4-3 | 0 | 0,00 | -3,92 | -44,15 | 0,00 | 6,05 | -33,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,85 | 39,40 | 0,00 | -10,49 | -60,30 |
| TR.T-4-3 | 1,75 | 0,00 | -1,41 | -39,49 | 0,00 | 6,05 | -44,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,85 | 23,80 | 0,00 | -10,49 | -52,68 |
| TR.T-4-3 | 3,5 | 0,00 | 1,10 | -39,22 | 0,00 | 6,05 | -55,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,85 | 8,21 | 0,00 | -10,49 | -45,07 |
| TR.T-4-4 | 0 | 0,00 | -13,78 | -39,30 | 0,00 | -3,66 | -62,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,68 | 11,53 | 0,00 | -9,00 | -39,84 |
| TR.T-4-4 | 1,75 | 0,00 | -11,27 | -17,39 | 0,00 | -3,66 | -56,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,68 | 6,15 | 0,00 | -9,00 | -28,68 |
| TR.T-4-4 | 3,5 | 0,00 | -8,75 | 0,13 | 0,00 | -3,66 | -49,81 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,68 | 0,77 | 0,00 | -9,00 | -17,52 |

| ELEMENTO | DISTANZA | AZIONE LONG. DEL VENTO (+) - $q_{s,a}$ | | | AZIONE LONG. DEL VENTO (-) - $q_{s,b}$ | | | AZIONE TRASV. DEL VENTO (+) - $q_{s,a}$ | | | AZIONE TRASV. DEL VENTO (-) - $q_{s,b}$ | | | TERMICA DIFFERENZIALE (+) - $q_{s,a}$ | | | TERMICA DIFFERENZIALE (-) - $q_{s,b}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] |
| TR.T-1-1 | 0 | 0,00 | -0,13 | -0,07 | 0,00 | 0,13 | 0,07 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-1 | 1,75 | 0,00 | -0,13 | 0,15 | 0,00 | 0,13 | -0,15 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-1 | 3,5 | 0,00 | -0,13 | 0,38 | 0,00 | 0,13 | -0,38 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-2 | 0 | 0,00 | 0,08 | 0,32 | 0,00 | -0,08 | -0,32 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-2 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | 0,18 | 0,00 | -0,08 | -0,18 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-2 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | 0,04 | 0,00 | -0,08 | -0,04 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-3 | 0 | 0,00 | 0,08 | -0,04 | 0,00 | -0,08 | 0,04 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-3 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | -0,18 | 0,00 | -0,08 | 0,18 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-3 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | -0,32 | 0,00 | -0,08 | 0,32 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-4 | 0 | 0,00 | -0,13 | -0,38 | 0,00 | 0,13 | 0,38 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-4 | 1,75 | 0,00 | -0,13 | -0,15 | 0,00 | 0,13 | 0,15 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-1-4 | 3,5 | 0,00 | -0,13 | 0,07 | 0,00 | 0,13 | -0,07 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-1 | 0 | 0,00 | -0,20 | -0,11 | 0,00 | 0,20 | 0,11 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-1 | 1,75 | 0,00 | -0,20 | 0,24 | 0,00 | 0,20 | -0,24 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-1 | 3,5 | 0,00 | -0,20 | 0,59 | 0,00 | 0,20 | -0,59 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-2 | 0 | 0,00 | 0,13 | 0,51 | 0,00 | -0,13 | -0,51 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-2 | 1,75 | 0,00 | 0,13 | 0,28 | 0,00 | -0,13 | -0,28 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-2 | 3,5 | 0,00 | 0,13 | 0,06 | 0,00 | -0,13 | -0,06 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-3 | 0 | 0,00 | 0,13 | -0,06 | 0,00 | -0,13 | 0,06 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-3 | 1,75 | 0,00 | 0,13 | -0,28 | 0,00 | -0,13 | 0,28 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-3 | 3,5 | 0,00 | 0,13 | -0,51 | 0,00 | -0,13 | 0,51 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-4 | 0 | 0,00 | -0,20 | -0,59 | 0,00 | 0,20 | 0,59 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-4 | 1,75 | 0,00 | -0,20 | -0,24 | 0,00 | 0,20 | 0,24 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-2-4 | 3,5 | 0,00 | -0,20 | 0,11 | 0,00 | 0,20 | -0,11 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-1 | 0 | 0,00 | -0,20 | -0,11 | 0,00 | 0,20 | 0,11 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-1 | 1,75 | 0,00 | -0,20 | 0,24 | 0,00 | 0,20 | -0,24 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-1 | 3,5 | 0,00 | -0,20 | 0,59 | 0,00 | 0,20 | -0,59 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-2 | 0 | 0,00 | 0,13 | 0,51 | 0,00 | -0,13 | -0,51 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-2 | 1,75 | 0,00 | 0,13 | 0,28 | 0,00 | -0,13 | -0,28 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-2 | 3,5 | 0,00 | 0,13 | 0,06 | 0,00 | -0,13 | -0,06 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-3 | 0 | 0,00 | 0,13 | -0,06 | 0,00 | -0,13 | 0,06 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-3 | 1,75 | 0,00 | 0,13 | -0,28 | 0,00 | -0,13 | 0,28 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-3 | 3,5 | 0,00 | 0,13 | -0,51 | 0,00 | -0,13 | 0,51 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-4 | 0 | 0,00 | -0,20 | -0,59 | 0,00 | 0,20 | 0,59 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-4 | 1,75 | 0,00 | -0,20 | -0,24 | 0,00 | 0,20 | 0,24 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-3-4 | 3,5 | 0,00 | -0,20 | 0,11 | 0,00 | 0,20 | -0,11 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-1 | 0 | 0,00 | -0,13 | -0,07 | 0,00 | 0,13 | 0,07 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-1 | 1,75 | 0,00 | -0,13 | 0,15 | 0,00 | 0,13 | -0,15 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-1 | 3,5 | 0,00 | -0,13 | 0,38 | 0,00 | 0,13 | -0,38 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-2 | 0 | 0,00 | 0,08 | 0,32 | 0,00 | -0,08 | -0,32 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-2 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | 0,18 | 0,00 | -0,08 | -0,18 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-2 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | 0,04 | 0,00 | -0,08 | -0,04 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-3 | 0 | 0,00 | 0,08 | -0,04 | 0,00 | -0,08 | 0,04 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-3 | 1,75 | 0,00 | 0,08 | -0,18 | 0,00 | -0,08 | 0,18 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-3 | 3,5 | 0,00 | 0,08 | -0,32 | 0,00 | -0,08 | 0,32 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-4 | 0 | 0,00 | -0,13 | -0,38 | 0,00 | 0,13 | 0,38 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-4 | 1,75 | 0,00 | -0,13 | -0,15 | 0,00 | 0,13 | 0,15 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TR.T-4-4 | 3,5 | 0,00 | -0,13 | 0,07 | 0,00 | 0,13 | -0,07 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

### 12.5.2 COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE

Per la determinazione delle azioni sollecitanti di calcolo agenti sui trasversi di testata sono state considerate le seguenti combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo – STR:

| CARICO | SLU - STR. 01 | | SLU - STR. 02 | | SLU - STR. 03 | | SLU - STR. 04 | | SLU - STR. 05 | | SLU - STR. 06 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 |
| $g_2$ | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 |
| ε | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 0,75 | 1,35 | 0,75 |
| $q_{3,a}$ | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 |
| $q_{3,b}$ | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 |
| $q_{4,a}$ | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 |
| $q_{4,b}$ | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 |
| $q_{5,a}$ | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 |
| $q_{5,b}$ | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 0,60 |

| CARICO | SLU - STR. 07 | | SLU - STR. 08 | | SLU - STR. 09 | | SLU - STR. 10 | | SLU - STR. 11 | | SLU - STR. 12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ | γ | ψ |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 | 1,35 | 1,00 |
| $g_2$ | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 |
| ε | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,75 | 1,35 | 0,75 | 1,35 | 0,75 | 1,35 | 0,75 | 1,35 | 0,75 | 1,35 | 0,75 |
| $q_{3,a}$ | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 |
| $q_{3,b}$ | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 |
| $q_{4,a}$ | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 |
| $q_{4,b}$ | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 0,60 | 1,50 | 0,60 |
| $q_{5,a}$ | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 0,00 |
| $q_{5,b}$ | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 0,60 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 0,00 | 1,20 | 1,00 |

### 12.5.3 RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI MASSIME DI CALCOLO

#### 12.5.3.1 Trasversi di testata

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori massimi delle azioni sollecitanti di calcolo sui trasversi di testata:

| ELEMENTO | DISTANZA | SLU - STR. 01 (MAX) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN-m] |
| TR.C-2-1 | 0 | 0,00 | 142,57 | 418,45 |
| TR.C-2-1 | 3,5 | 0,00 | 153,94 | 52,34 |

L'azione normale di compressione è assunta con segno negativo.

#### 12.5.3.2 Trasversi correnti

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori massimi delle azioni sollecitanti di calcolo sui trasversi correnti:

| ELEMENTO | DISTANZA | SLU - STR. 02 (MAX) | | | SLU - STR. 03 (MIN) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ | $N_{s,k}$ | $V_{s,k}$ | $M_{s,k}$ |
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN-m] | [kN] | [kN] | [kN-m] |
| TR.T-3-1 | 3,5 | -0,28 | 149,03 | -84,75 | -0,04 | 9,09 | -313,58 |

L'azione normale di compressione è assunta con segno negativo.

### 12.5.4 TRASVERSI DI TESTATA - VERIFICHE STRUTTURALI

| VERIFICA STRUTTRALE DEL PROFILO METALLICO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale del trasverso flessionale: | 800,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 300,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 20,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 760,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 20,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 300,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 20,00 | mm |
| Area della sezione del trasverso flessionale: | 27.200,00 | $mm^2$ |
| Momento statico della sezione rispetto al lembo inferiore del trasverso: | 1,088E+07 | $mm^3$ |
| Baricentro della sezione rispetto al lembo inferiore del trasverso: | 400,00 | mm |
| Momento di inerzia della sezione rispetto al baricentro del trasverso: | 2,557E+09 | $mm^4$ |
| Modulo di resistenza del lembo superiore: | 6,393E+06 | $mm^3$ |
| Modulo di resistenza del lembo inferiore: | -6,393E+06 | $mm^3$ |
| Area resistente a taglio: | 16.000,00 | $mm^2$ |
| Tipologia di acciaio: | S355 | |
| Resistenza di calcolo a compressione/trazione: | 338,10 | $N/mm^2$ |
| Resistenza di calcolo a taglio: | 195,20 | $N/mm^2$ |
| Azione normale di calcolo: | 0,00 | |
| Momento flettente di calcolo: | 418,45 | kNm |
| Azione tagliante di calcolo: | 153,94 | kN |
| Tensione normale massima agente al lembo superiore del trasverso: | **65,45** | $N/mm^2$ |
| **VERIFICA POSITIVA** | | |
| Tensione normale massima agente al lembo inferiore del trasverso: | **-65,45** | $N/mm^2$ |
| **VERIFICA POSITIVA** | | |
| Tensione tangenziale massima sul trasverso: | **9,62** | $N/mm^2$ |
| **VERIFICA POSITIVA** | | |

### 12.5.5 TRASVERSI CORRENTI- VERIFICHE STRUTTURALI

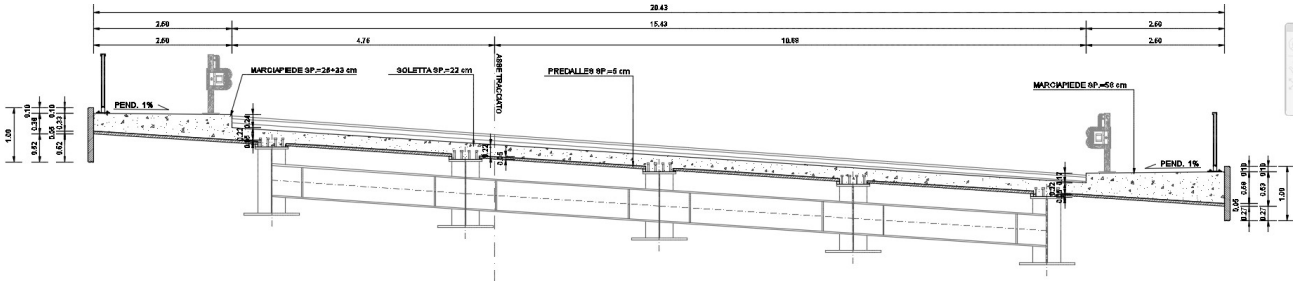
| VERIFICA STRUTTRALE DEL PROFILO METALLICO | | |
|---|---|---|
| Altezza totale del trasverso flessionale: | 600,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda superiore: | 200,00 | mm |
| Spessore della piattabanda superiore: | 18,00 | mm |
| Altezza dell'anima: | 564,00 | mm |
| Spessore dell'anima: | 16,00 | mm |
| Larghezza della piattabanda inferiore: | 200,00 | mm |
| Spessore della piattabanda inferiore: | 18,00 | mm |
| Area della sezione del trasverso flessionale: | 16.224,00 | $mm^2$ |
| Momento statico della sezione rispetto al lembo inferiore del trasverso: | 4,867E+06 | $mm^3$ |
| Baricentro della sezione rispetto al lembo inferiore del trasverso: | 300,00 | mm |
| Momento di inerzia della sezione rispetto al baricentro del trasverso: | 8,491E+08 | $mm^4$ |
| Modulo di resistenza del lembo superiore: | 2,830E+06 | $mm^3$ |
| Modulo di resistenza del lembo inferiore: | -2,830E+06 | $mm^3$ |
| Area resistente a taglio: | 9.600,00 | $mm^2$ |
| Tipologia di acciaio: | S355 | |
| Resistenza di calcolo a compressione/trazione: | 338,10 | $N/mm^2$ |
| Resistenza di calcolo a taglio: | 195,20 | $N/mm^2$ |
| Azione normale di calcolo: | 0,00 | |
| Momento flettente di calcolo: | 313,58 | kNm |
| Azione tagliante di calcolo: | 149,03 | kN |
| Tensione normale massima agente al lembo superiore del trasverso: | **110,79** | $N/mm^2$ |
| **VERIFICA POSITIVA** | | |
| Tensione normale massima agente al lembo inferiore del trasverso: | **-110,79** | $N/mm^2$ |
| **VERIFICA POSITIVA** | | |
| Tensione tangenziale massima sul trasverso: | **15,52** | $N/mm^2$ |
| **VERIFICA POSITIVA** | | |

# 13 ANALISI E VERIFICA DELLA SOLETTA

Nel presente paragrafo si analizza il comportamento trasversale della soletta dell'impalcato. In particolare si provvede ad eseguire lo studio della statica locale in quanto la statica globale è già stata presa in esame nei paragrafi precedenti, valutando le tensioni nel calcestruzzo e nelle barre d'armatura longitudinali.

In fase di progetto si è scelto di realizzare la soletta con l'utilizzo di coppelle prefabbricate che fungono da cassero a perdere. Lo spessore complessivo di soletta è pari a **0,27 m**, di cui **0,05 m** sono relativi alla coppella.

La larghezza totale massima della soletta è pari a circa **20,43 m**. L'analisi locale si riferisce alle menzionate dimensioni assumendo dunque lo schema di trave continua su n. 5 appoggi, avente le seguenti luci di calcolo: luci intermedie aventi lunghezza pari a **3,50 m** con sbalzi aventi lunghezza massima pari a **3,215 m**.

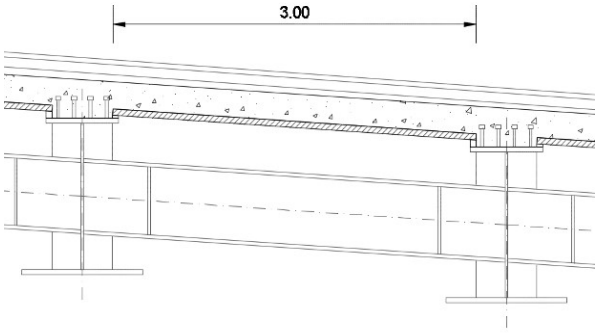


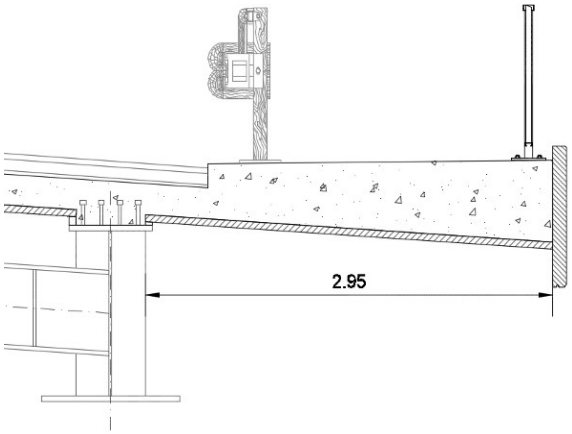

Nei punti seguenti viene innanzitutto verificata la coppella durante la fase di getto; in secondo luogo viene esaminato il comportamento complessivo della soletta in fase di esercizio.

## 13.1 VERIFICA DELLE LASTRE PREFABBRICATE TRALICCIATE IN FASE DI COSTRUZIONE

In direzione trasversale, il getto dello spessore corrente di soletta avverrà in n.3 fasi:
fase 1: getto della soletta nei campi centrali tra le travi principali;
fase 2: getto della soletta sugli sbalzi;
fase 3: getto dei cordoli.
Oltre al peso proprio delle parti gettate si considera a favore di sicurezza la presenza di un sovraccarico accidentale di **1,00 kN/m²**.
Si prevede a tale scopo l'utilizzo di lastre prefabbricate tralicciate aventi spessore di **50 mm**, armate con tralicci d'armatura così formati:
Corrente superiore: n. 1 ϕ 20
Corrente inferiore: n. 2 ϕ 14 annegati nella lastra.
Staffe diagonali: n. 2 ϕ 10/20
Rete elettrosaldata predalle: ϕ 5/15×15
Distanza tra corrente superiore/inferiore: 205 mm

Lo studio della fase di getto fa riferimento alle configurazioni limite di trave appoggiata su una luce pari a **3,00 m** per le campate intermedie e di sbalzo massimo pari a **2,95 m**.



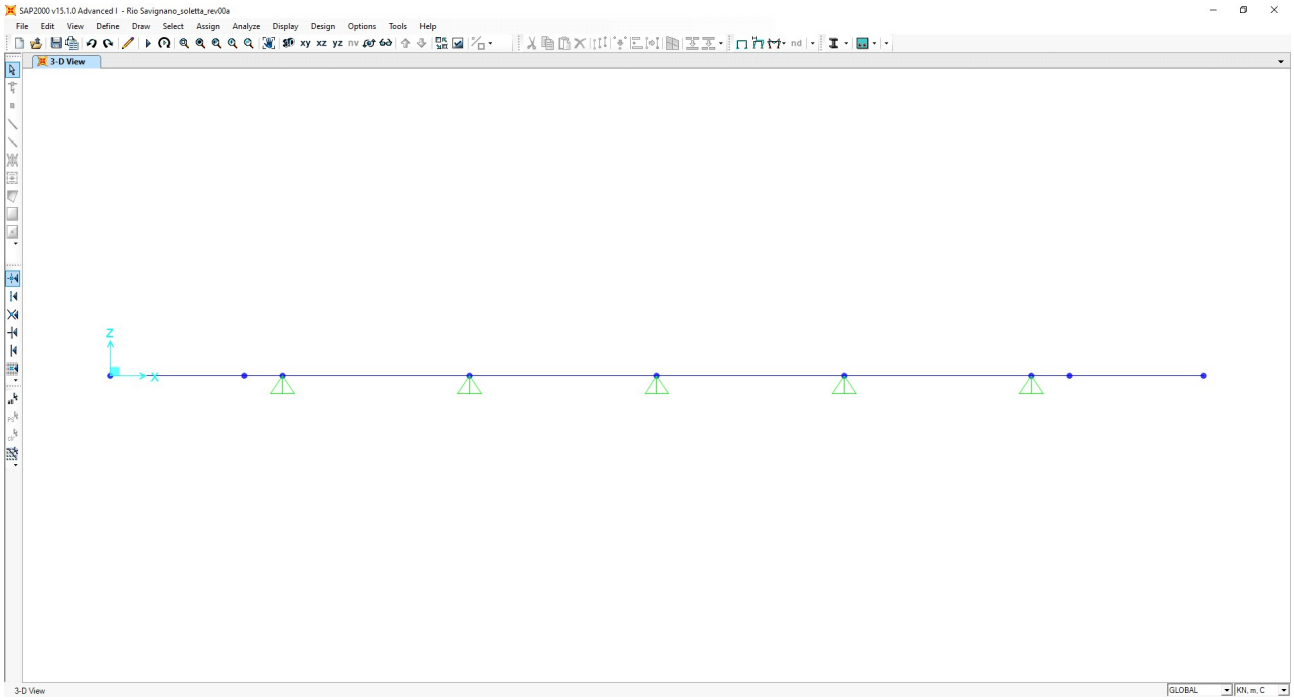

| Verifica del traliccio in Campata | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schema | Campata | --- | molt mom | 0,13 | --- | Luce | 3,00 | m |
| inter tral. | 400,00 | mm | sp dalla | 50,00 | mm | sp soletta | 270,00 | mm |
| qacc= | 1,00 | kN/mq | h traliccio | 205,00 | mm | Passo long. diag. | 200,00 | mm |
| Φsup | 20,00 | mm | Φinf | 14,00 | mm | Φdiag. | 10,00 | mm |
| Inter. Ferri inf | 90,00 | mm | | | | | | |
| M tot | 4,21 | kNm | Vtot= | 5,40 | kN | | | |
| Nsup | 20,55 | kN | σsup= | 65,43 | Mpa | | | |
| Ninf | -20,55 | kN | σinf= | -66,77 | Mpa | | | |
| Ndiag.= | 3,86 | kN | σdiag= | 24,60 | Mpa | | | |
| Corrente compresso | | | | | | | | |
| λ= | 40,00 | | ε= | 0,74 | | λ= | 0,58 | --- |
| ΦΦ= | 0,76 | | X= | 0,80 | | | | |
| Corrente diagonale | | | | | | | | |
| λ= | 92,99 | | ε= | 0,74 | | λ= | 1,34 | --- |
| ΦΦ= | 1,68 | | X= | 0,37 | | | | |
| | | | | | | | | |
| σrd comp= | 255,00 | N/mmq | σslu= | 65,43 | N/mmq | Verifica soddisfatta | | |
| σrd teso= | -255,00 | N/mmq | σslu (-)= | -66,77 | N/mmq | Verifica soddisfatta | | |
| σrd diag= | 255,00 | N/mmq | σslu (-)= | 24,60 | N/mmq | Verifica soddisfatta | | |

| Verifica del traliccio allo sbalzo | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schema | Sbalzo | --- | molt mom | 0,50 | --- | Luce | 2,95 | m |
| inter tral. | 400,00 | mm | sp dalla | 50,00 | mm | sp soletta | 270,00 | mm |
| qacc= | 1,00 | kN/mq | h traliccio | 205,00 | mm | Passo long. diag. | 200,00 | mm |
| Φsup | 20,00 | mm | Φinf | 14,00 | mm | Φdiag. | 10,00 | mm |
| Inter. Ferri inf | 90,00 | mm | | | | | | |
| M tot | 15,66 | kNm | Vtot= | 10,62 | kN | | | |
| Nsup | -76,41 | kN | σsup= | -243,35 | Mpa | | | |
| Ninf | 76,41 | kN | σinf= | 248,32 | Mpa | | | |
| Ndiag.= | 7,60 | kN | σdiag= | 48,38 | Mpa | | | |
| **Corrente compresso** | | | | | | | | |
| λ= | 57,14 | | ε= | 0,72 | | λ= | 0,84 | --- |
| ΦΦ= | 1,01 | | X= | 0,64 | | | | |
| **Corrente diagonale** | | | | | | | | |
| λ= | 92,99 | | ε= | 0,72 | | λ= | 1,37 | --- |
| ΦΦ= | 1,73 | | X= | 0,36 | | | | |
| | | | | | | | | |
| $\sigma_{amm,corr.compr}$= | 255,00 | N/mmq | $\sigma_s$= | 248,32 | N/mmq | **Verifica soddisfatta** | | |
| $\sigma_{amm,corr.teso}$= | -255,00 | N/mmq | $\sigma_s$ (-)= | -243,35 | N/mmq | **Verifica soddisfatta** | | |
| $\sigma_{amm,diag}$= | 255,00 | N/mmq | $\sigma_s$ (-)= | 48,38 | N/mmq | **Verifica soddisfatta** | | |

## 13.2 ANALISI TRASVERSALE DELLA SOLETTA

### 13.2.1 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi trasversale della soletta viene condotta con riferimento ai modelli piani mostrati in figura, utilizzando elementi "beam" lineari a 2 nodi, in particolare si analizza il caso con vincoli rigidi.

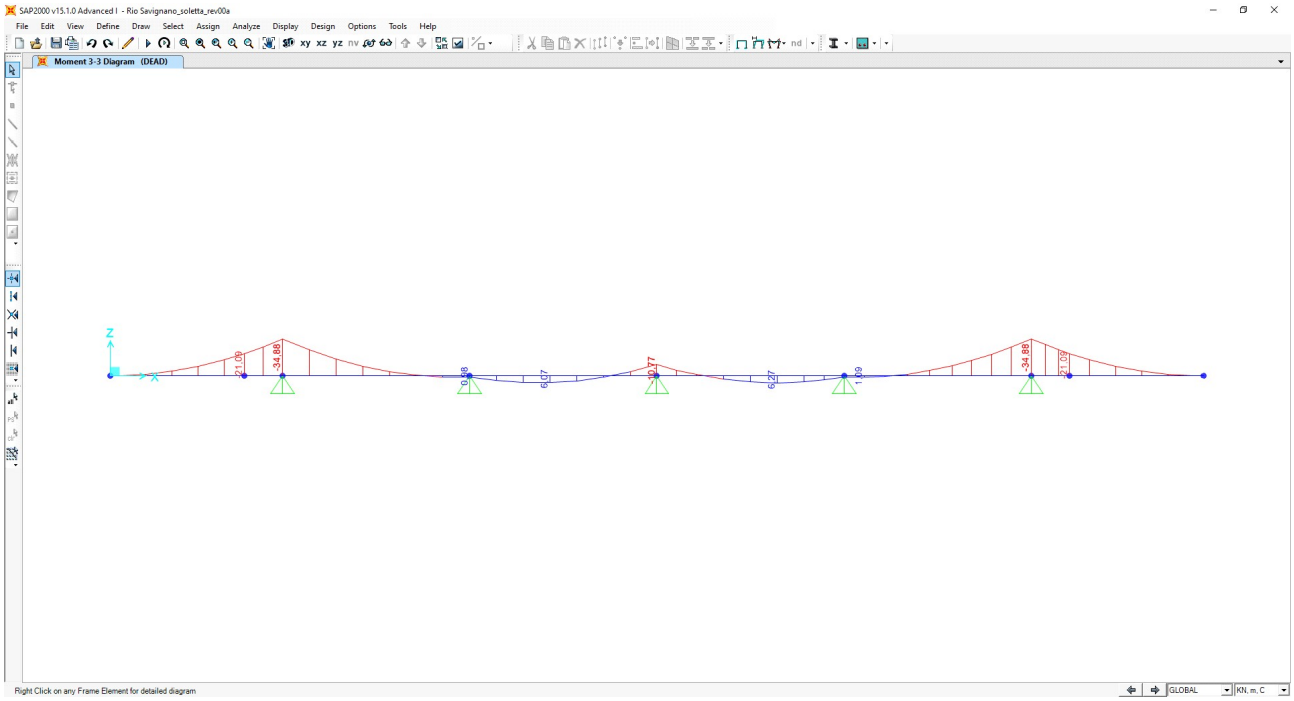


## 13.3 CALCOLO DELLE AZIONI SOLLECITANTI – SEZIONE DI SPICCATO DELLO SBALZO

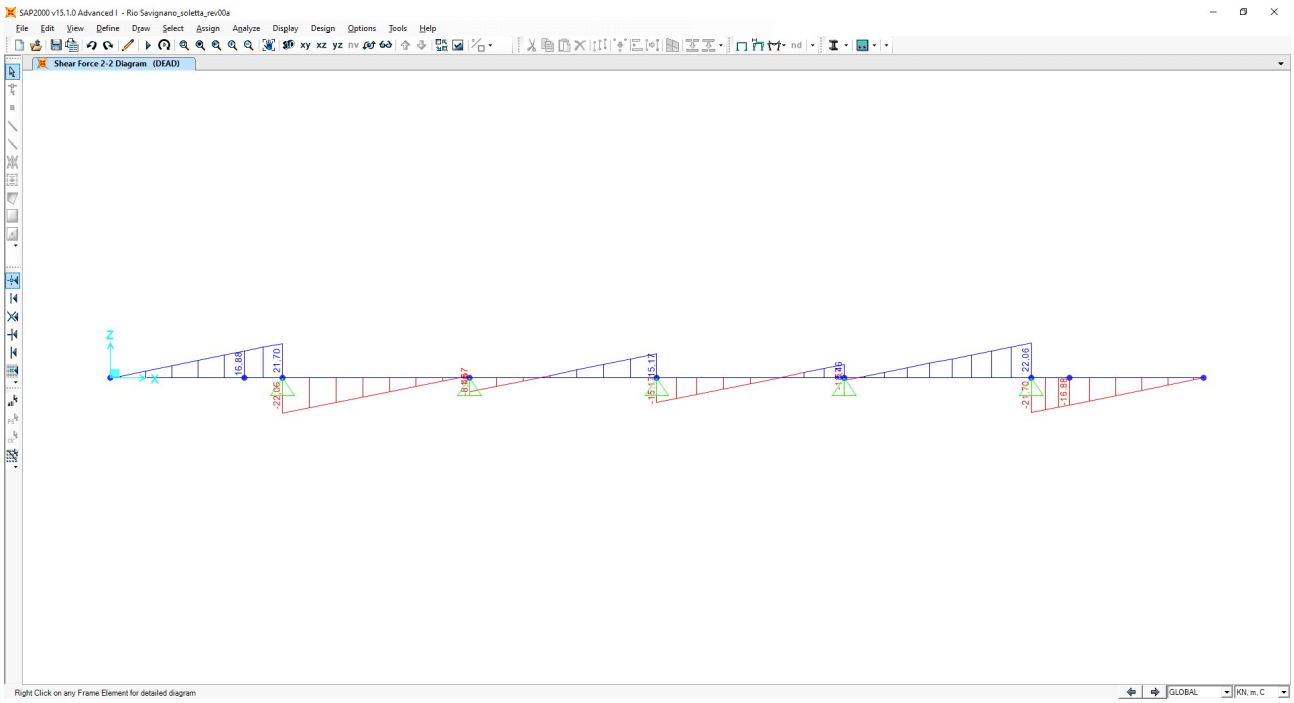
Il dimensionamento e le verifiche strutturali saranno eseguiti sullo sbalzo destro, il quale presenta delle condizioni di carico sfavorevoli rispetto allo sbalzo sinistro.

### 13.3.1 PESO PROPRIO E CARICHI PERMANENTI PORTATI

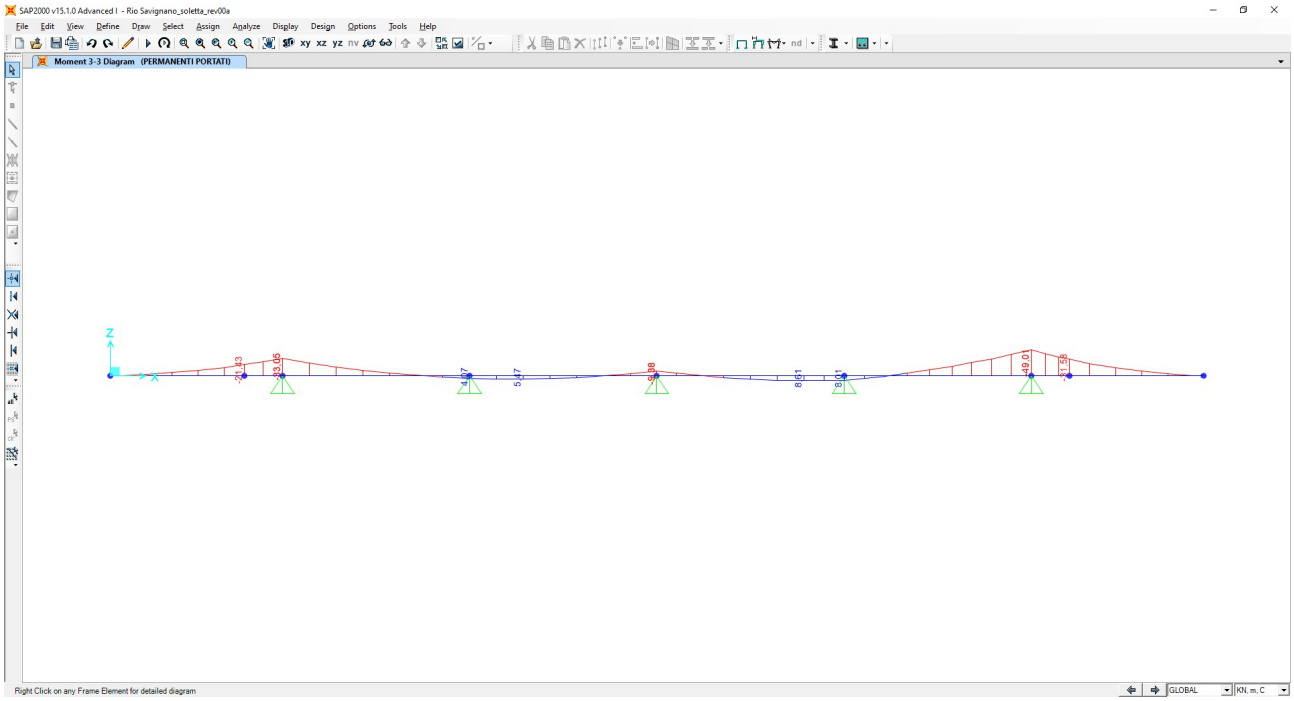
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto al peso proprio della soletta:



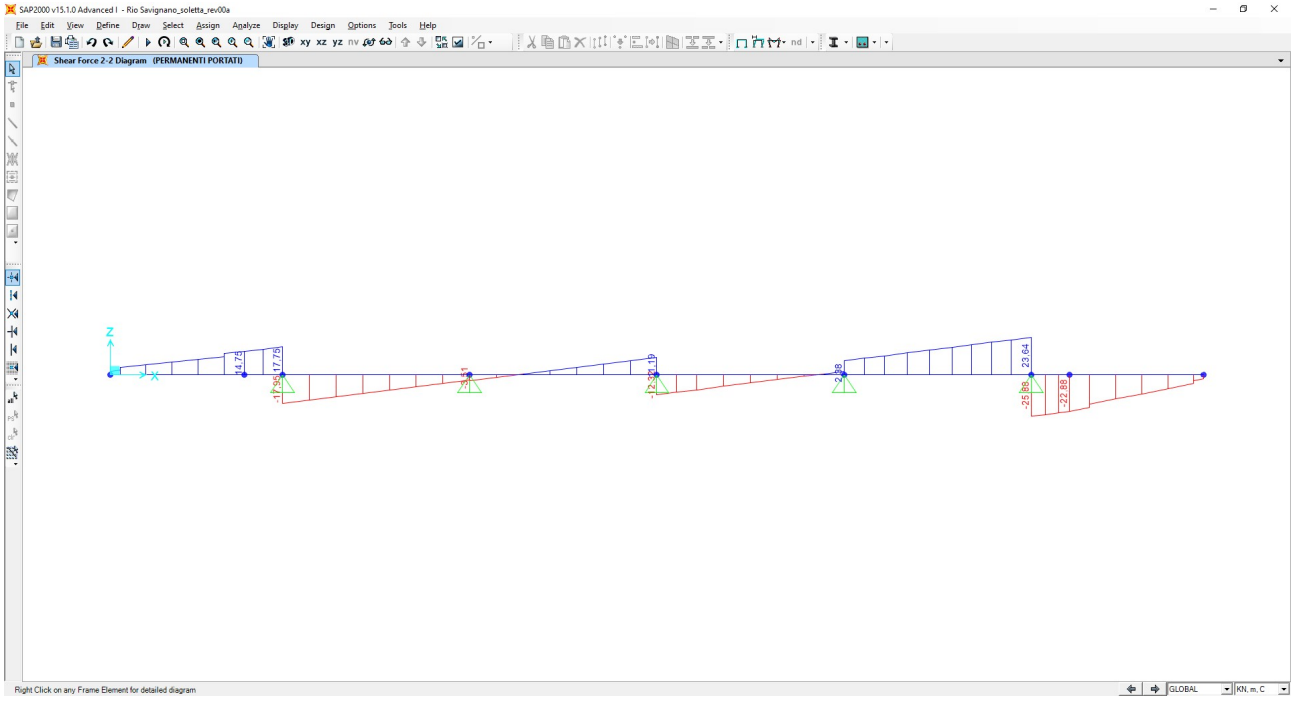

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto al peso proprio della soletta:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi permanenti portati:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi permanenti portati:




Nella sezione di appoggio (spiccato dello sbalzo) le sollecitazioni provocate dal peso proprio e dai carichi permanenti, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

<u>Peso proprio della soletta</u>

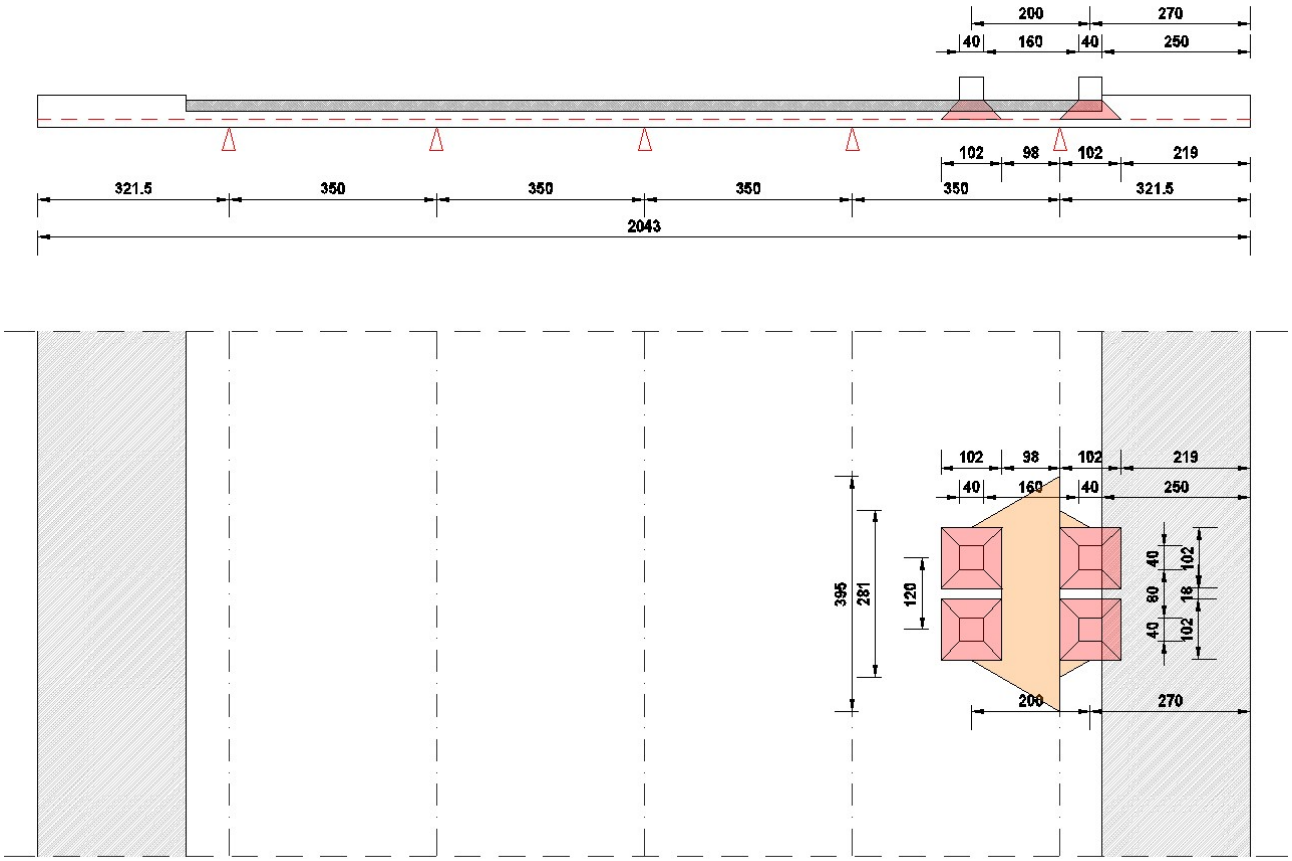
- **$M_{PP}$ = -34,88 kNm/m**
- **$V_{PP}$ = -21,70 kN/m**

<u>Carichi permanenti portati</u>

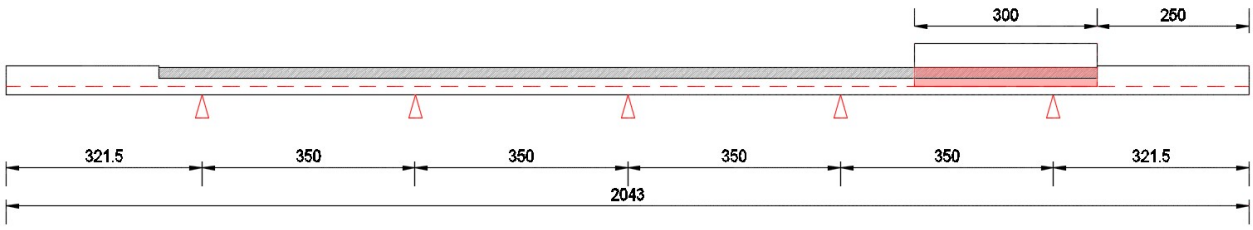
- **$M_{PERM}$ = -49,01 kNm/m**
- **$V_{PERM}$ = -25,88 kN/m**

### 13.3.2 CARICHI ACCIDENTALI DA TRAFFICO

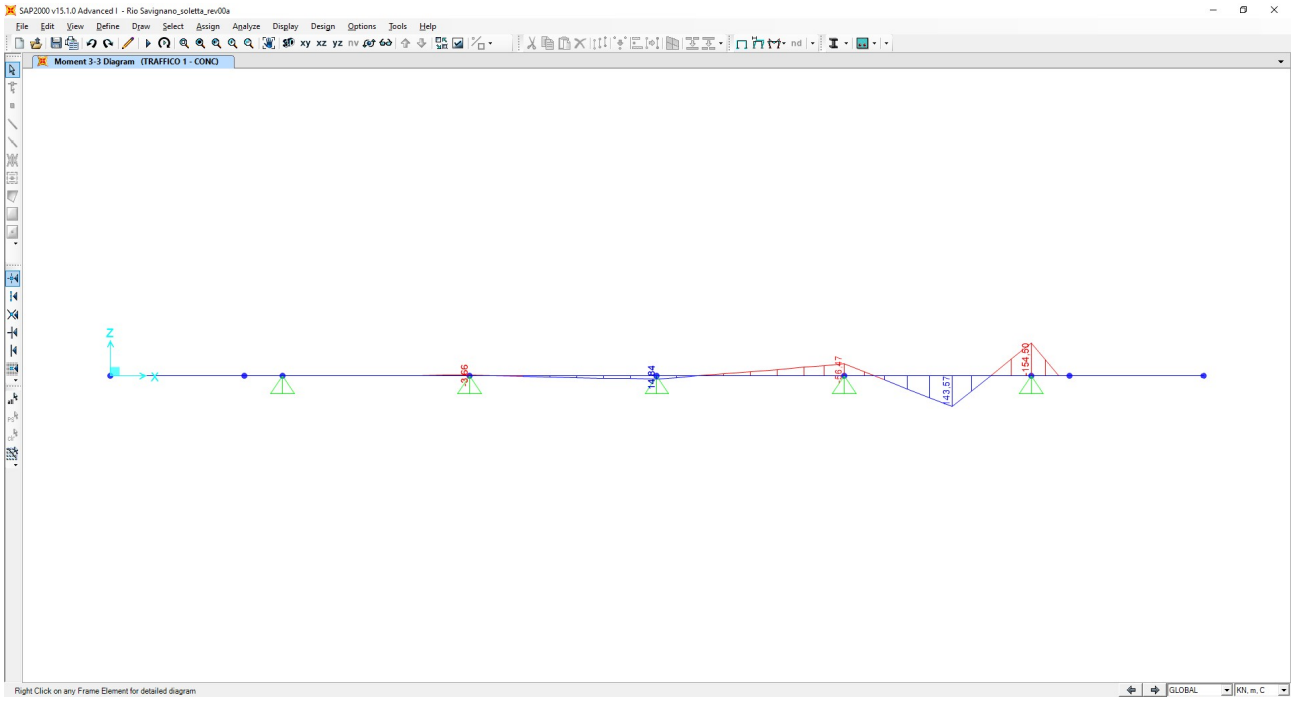
Al fine di determinare i valori massimi delle azioni sollecitanti sulla sezione di spiccato dello sbalzo è stata considerata una distribuzione dei carichi accidentali da traffico come riportato nelle immagini successive. Per quanto concerne i carichi concentrati le sollecitazioni sono ottenute come se il carico prodotto dalle impronte fosse distribuito su una striscia continua che diffonde i suoi effetti nel piano a 30° (assunzione giustificata da precedenti e più approfonditi studi analoghi, con modellazione della soletta a piastra). Risulta una striscia collaborante di soletta pari a 2,81 m.



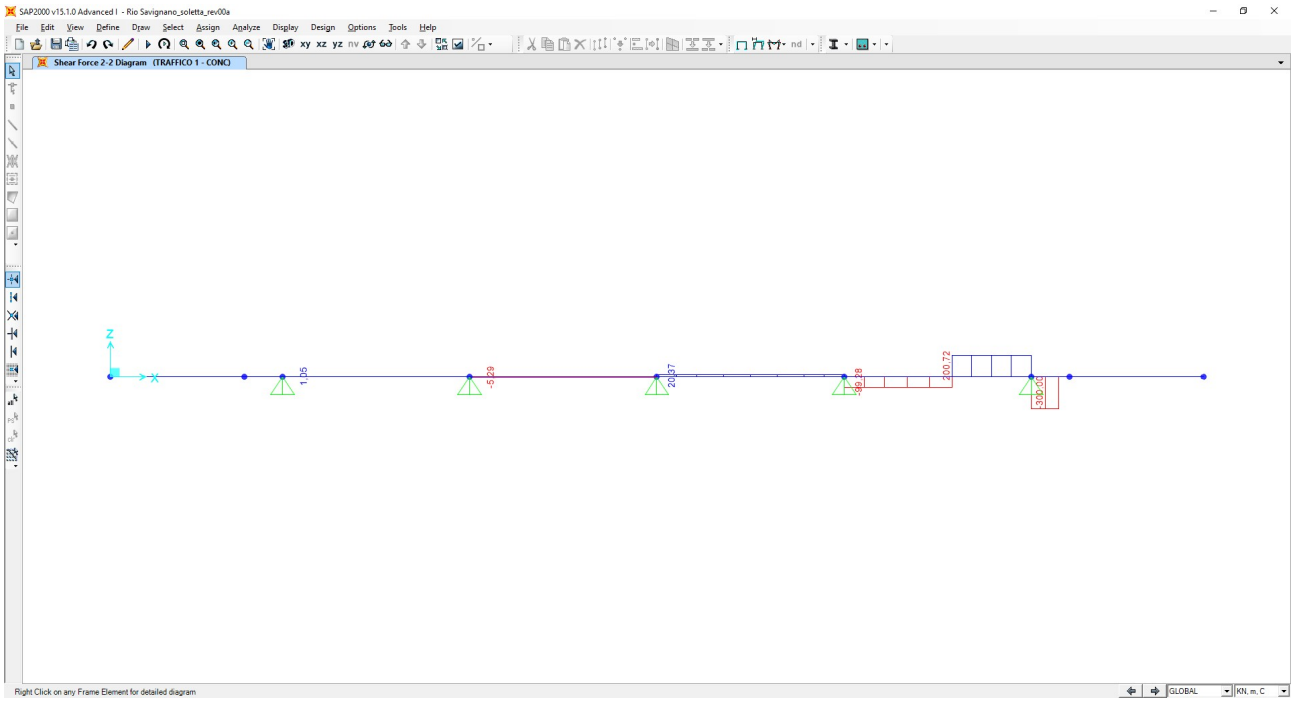

All'effetto dei carichi accidentali da traffico concentrati si aggiunge l'effetto dei carichi accidentali da traffico distribuiti, disposti come nell'immagine successiva:



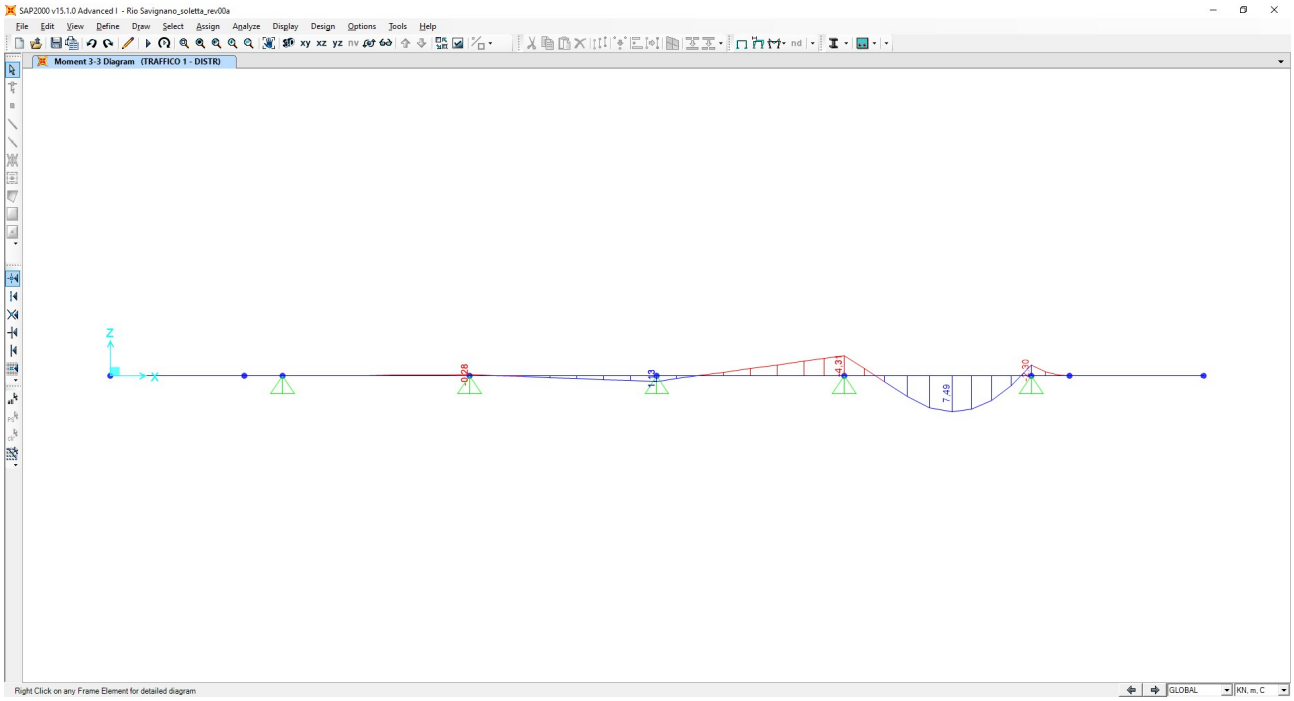
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da traffico concentrati:



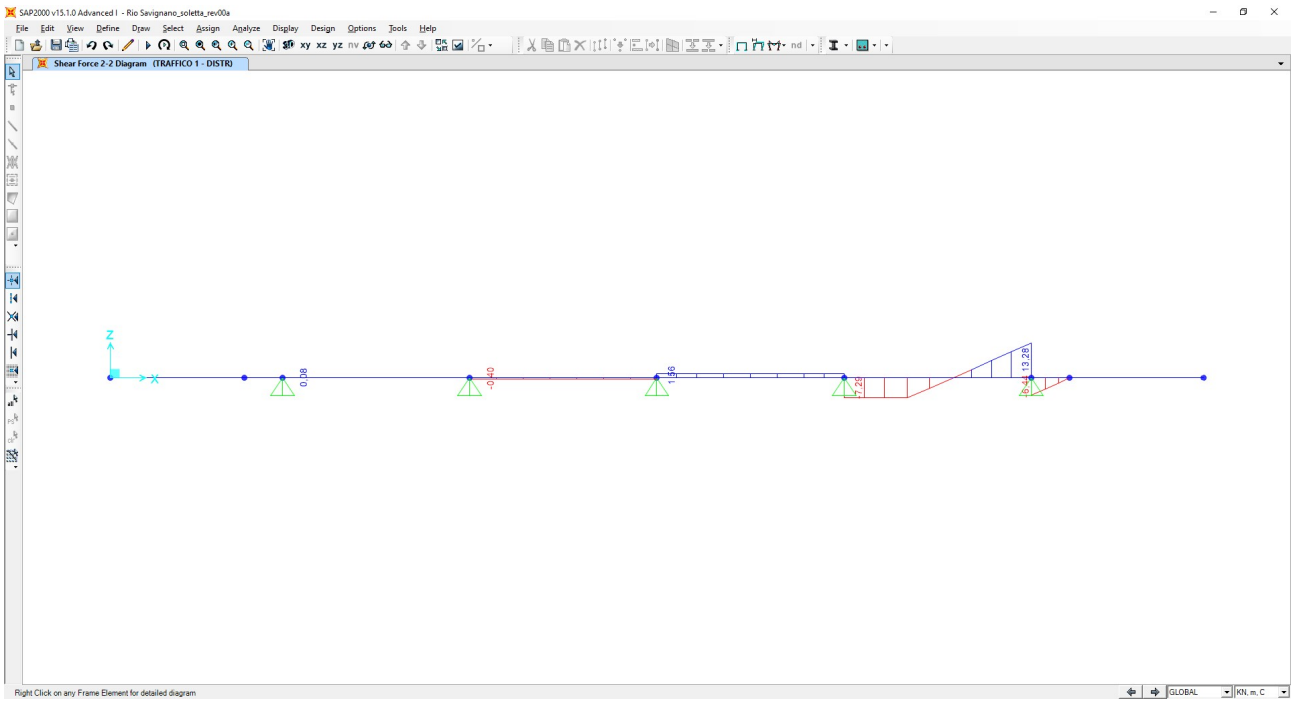

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da traffico concentrati:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da traffico distribuiti:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da traffico distribuiti:




Nella sezione di appoggio (spiccato dello sbalzo) le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da traffico, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

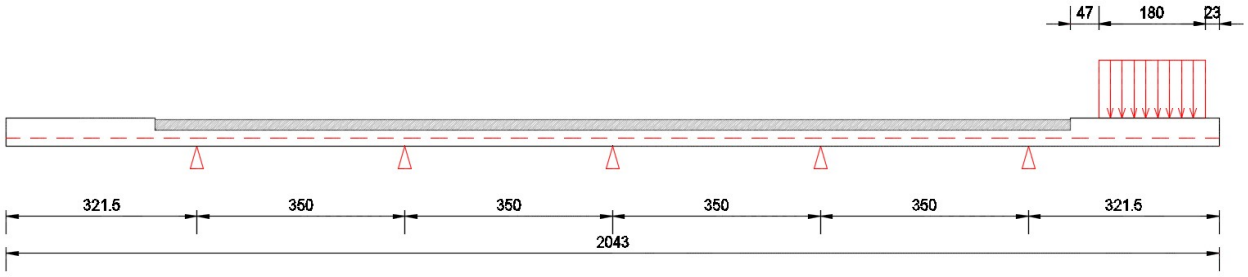
- **$M_{ACC}$ = -154,50 / 2,81 - 2,30 = -57,28 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = -300,00 / 2,81 - 6,44 = -113,20 kN/m**

### 13.3.3 CARICHI ACCIDENTALI DA FOLLA COMPATTA

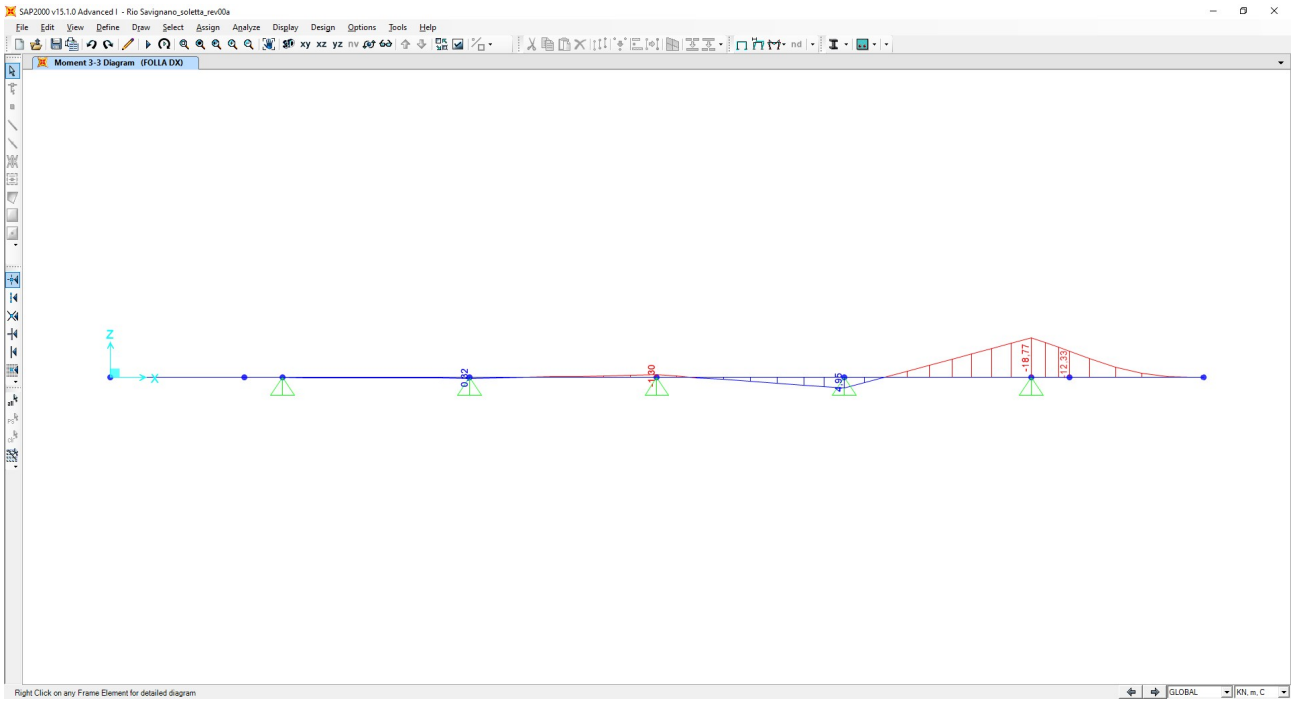
Il carico da folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, è assunto pari a **5,00 kN/m²**.

Il valore di combinazione (carico da traffico preponderante) è invece assunto pari a **2,50 kN/m²**.

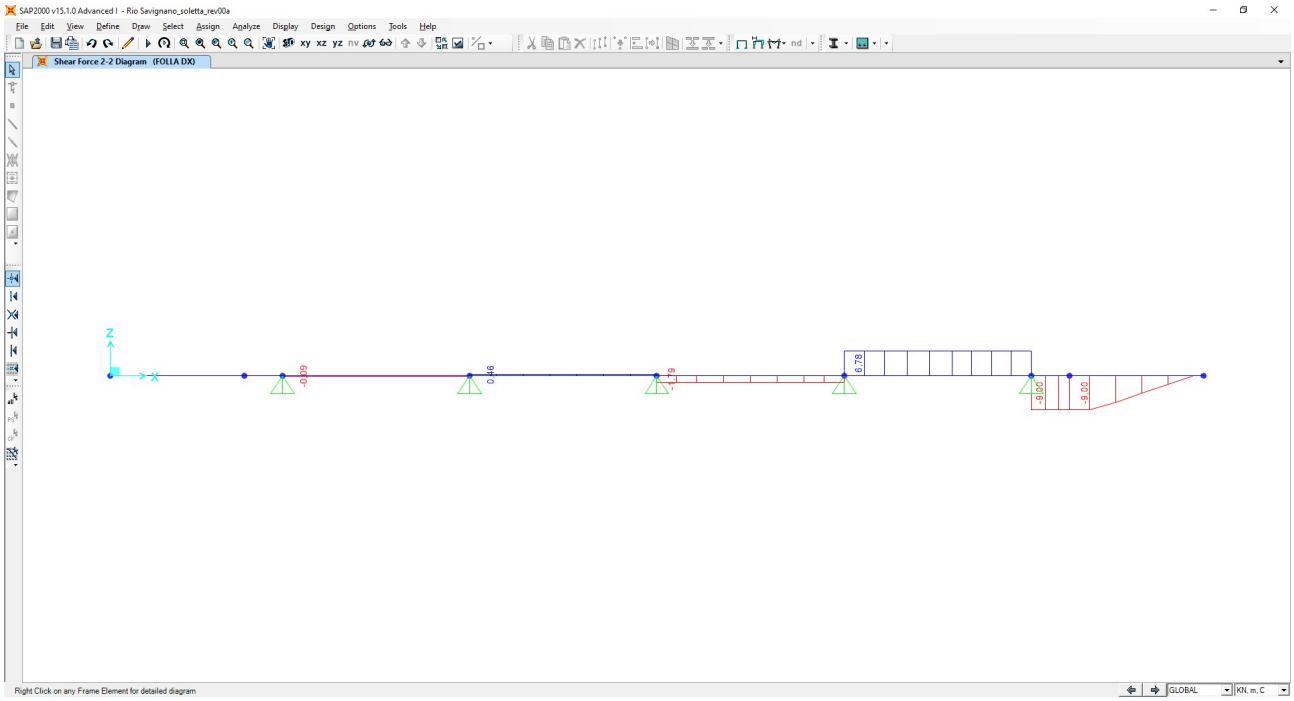
Al fine di determinare i valori massimi delle azioni sollecitanti sulla sezione di spiccato dello sbalzo è stata considerata una distribuzione dei carichi accidentali da folla come riportato nelle immagini successive.



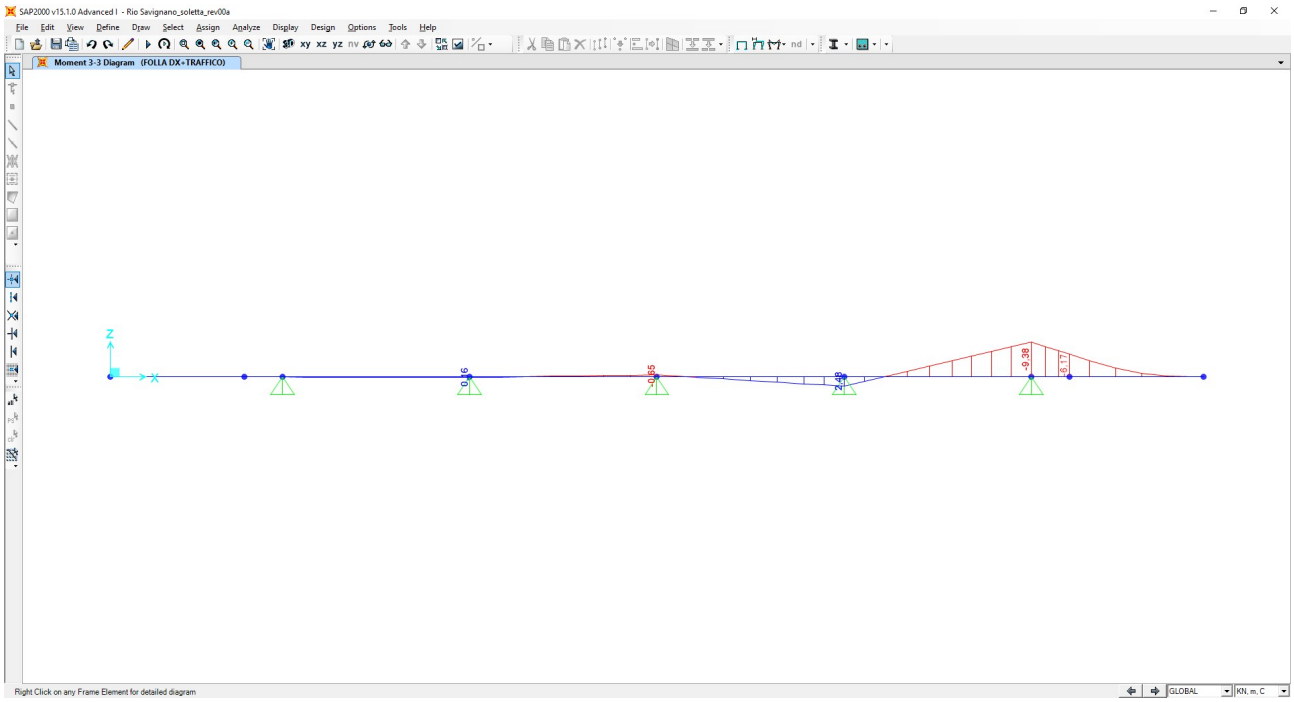

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da folla:



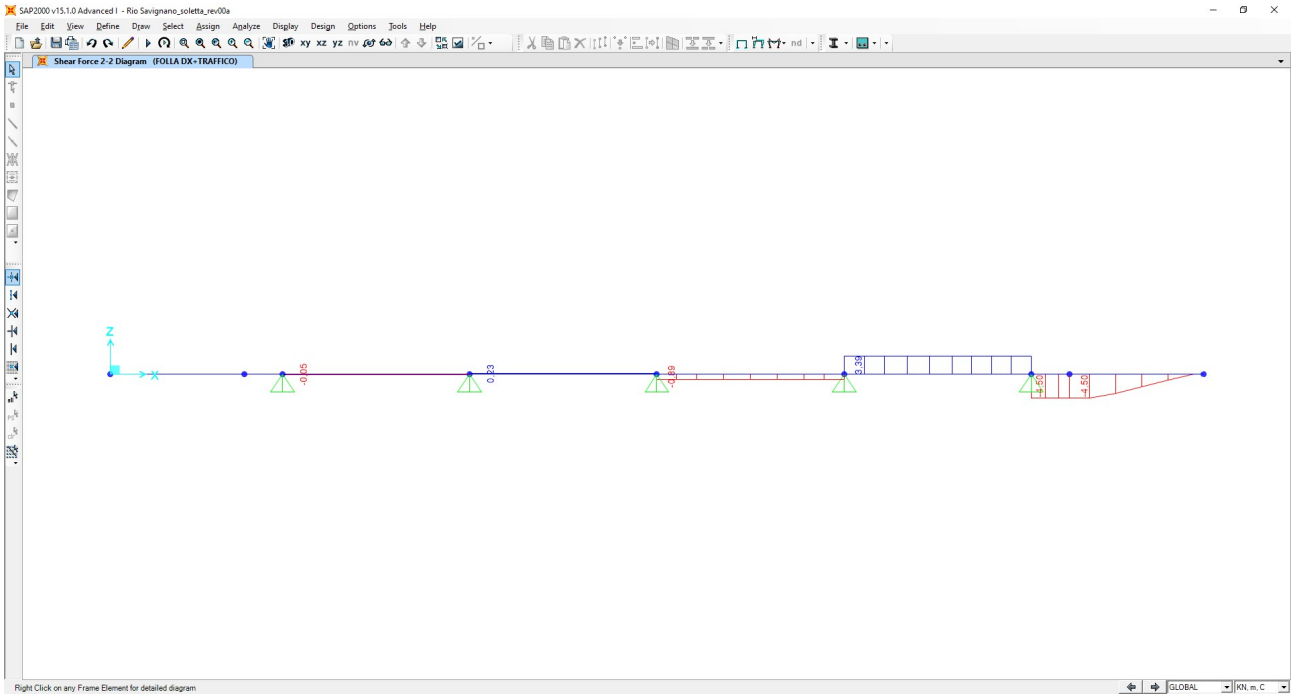
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da folla:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da folla + carichi accidentali da traffico:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da folla + carichi accidentali da traffico:




Carico accidentale da folla

Nella sezione di appoggio (spiccato dello sbalzo) le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da folla applicati secondo lo schema riportato precedentemente ed agenti con intensità nominale pari a **5,00 kN/m²**, risultano pari a:

- **$M_{ACC}$ = -18,77 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = -9,00 kN/m**

Carico accidentale da folla + carichi accidentali da traffico

Nella sezione di appoggio (spiccato dello sbalzo) le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da folla applicati secondo lo schema riportato precedentemente ed agenti con carico da traffico preponderante (carico da folla pari a **2,50 kN/m²**), risultano pari a:

- **$M_{ACC}$ = -9,38 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = -4,50 kN/m**

### 13.3.4 URTO DA AUTOVEICOLO IN SVIO

#### 13.3.4.1 Valutazione standard delle azioni sollecitanti

Il momento flettente generato dall'urto sugli elementi di sicurvia viene trasmesso dai montanti alla soletta. Considerando in analogia con quanto fatto per i carichi mobili che sulla sezione di verifica insista una sovrapposizione degli effetti di due montanti, posti ad interasse di 1,50 m, e che ogni singolo montante abbia influenza su una striscia di circa 1,50 m di soletta nella sezione di appoggio, si calcola un momento flettente nella sezione di spiccato dello sbalzo pari a:

- **$M_{URTO}$ = - 100 x 1,34 / 1,50 = -89,93 kNm/m --> $M_{URTO}$ = -90,00 kNm/m**

#### 13.3.4.2 Valutazione delle azioni sollecitanti secondo Quaderno Tecnico ANAS n. 5

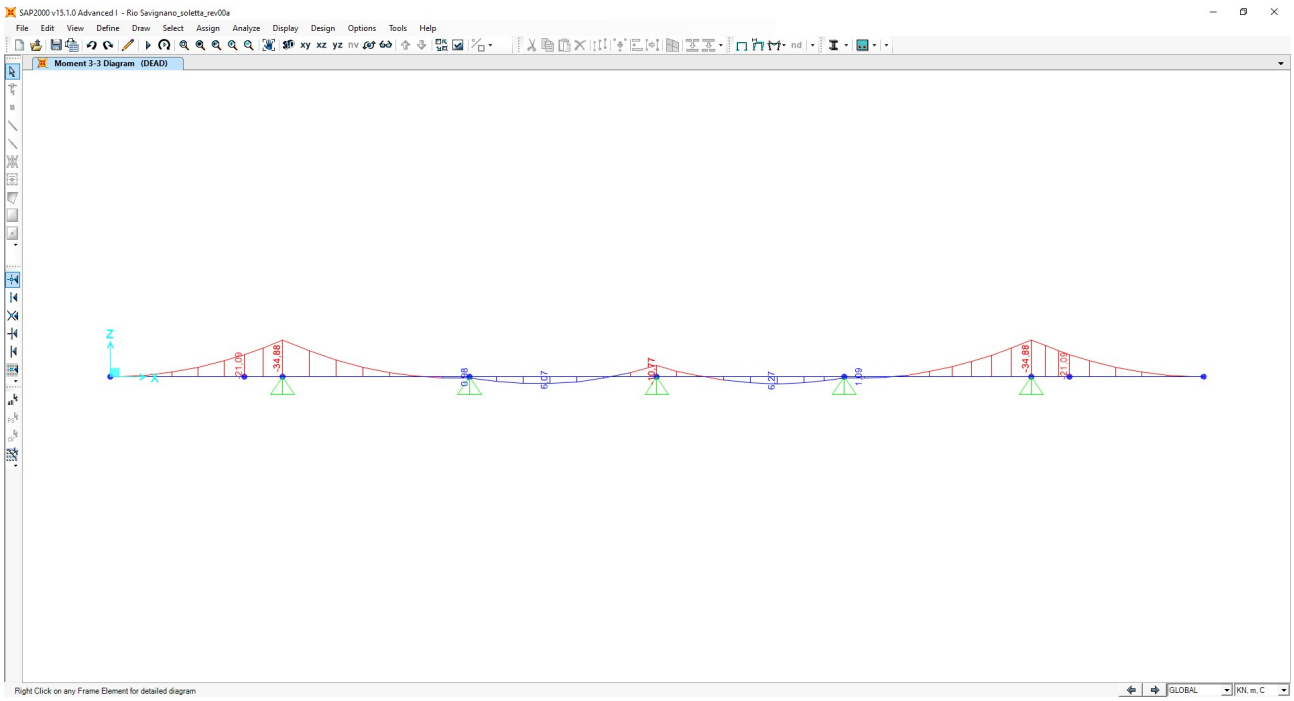
Di seguito è riportata la determinazione delle azioni sollecitanti sulla soletta secondo quanto previsto dal Quaderno tecnico ANAS n. 5.
Si considera una distanza tra la sezione di plasticizzazione del montante (sezione di spiccato dalla piastra di base) e la linea media della soletta pari a 36 cm.

| VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI SULLA SOLETTA PER EFFETTO DELL'URTO DI UN AUTOVEICOLO IN FASE DI SVIO | | | |
|---|---|---|---|
| **A. CARATTERISTICHE DELLA BARRIERA GUARD RAIL** | | | |
| Tipologia di barriera | | **T40 BP** | [-] |
| Tipologia del montante | | **HEA100** | [-] |
| Tipologia di acciaio costituente in montante | | **S235JR rivestito in legno** | |
| Modulo di resistenza plastico | $W_{pl}$ | **83,01** | [$cm^3$] |
| Momento di plasticizzazione | $M_{pl}$ | **19,51** | [kNm] |
| Momento di plasticizzazione amplificato (γ = 1,50) | $M_{amp}$ | 29,27 | [kNm] |
| **B. VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI INDOTTE DALL'URTO DI UN AUTOVEICOLO IN FASE SVIO** | | | |
| Interasse longitudinale tra montanti successivi | $i_m$ | **1,50** | [m] |
| Momento di plasticizzazione ripartito | $M_{ampl} / i_m$ | -19,51 | [kNm/m] |
| Distanza tra il baricentro del nastro della barriera e la sezione plasticizzata | H | **0,60** | [m] |
| Azione normale di trazione per metro lineare di soletta | N | 32,52 | [kN/m] |
| Distanza tra sezione di plasticizzazione e linea media della soletta | d | **0,36** | [m] |
| Momento di trasporto dovuto alla distanza tra sezione di plasticizzazione e linea media della soletta | $M_t = N \cdot d$ | -11,71 | [kNm/m] |
| Azione normale di trazione per metro lineare agente sulla soletta per effetto dell'urto | $N_{Sd}$ | **32,52** | [kN/m] |
| Momento flettente per metro lineare agente sulla soletta per effetto dell'urto | $M_{Sd}$ | **-31,22** | [kNm/m] |

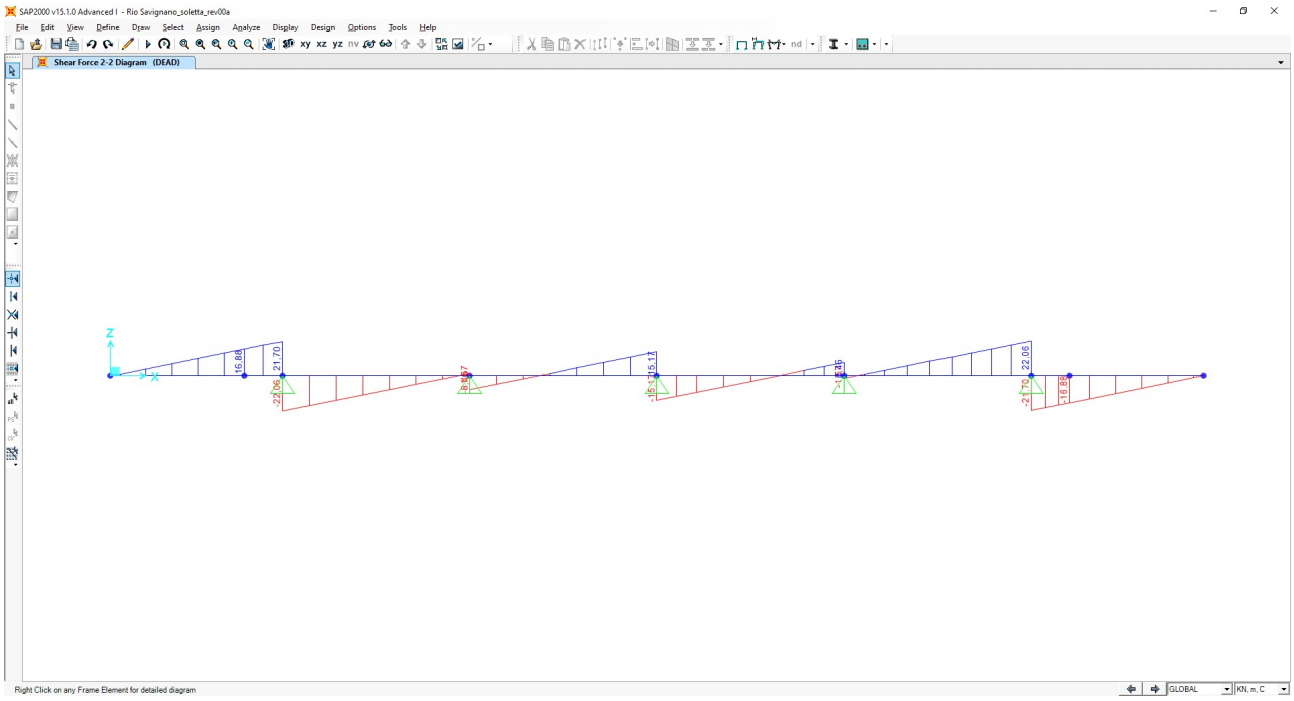
## 13.4 CALCOLO DELLE AZIONI SOLLECITANTI – SEZIONE IN CAMPATA

### 13.4.1 PESO PROPRIO E CARICHI PERMANENTI PORTATI

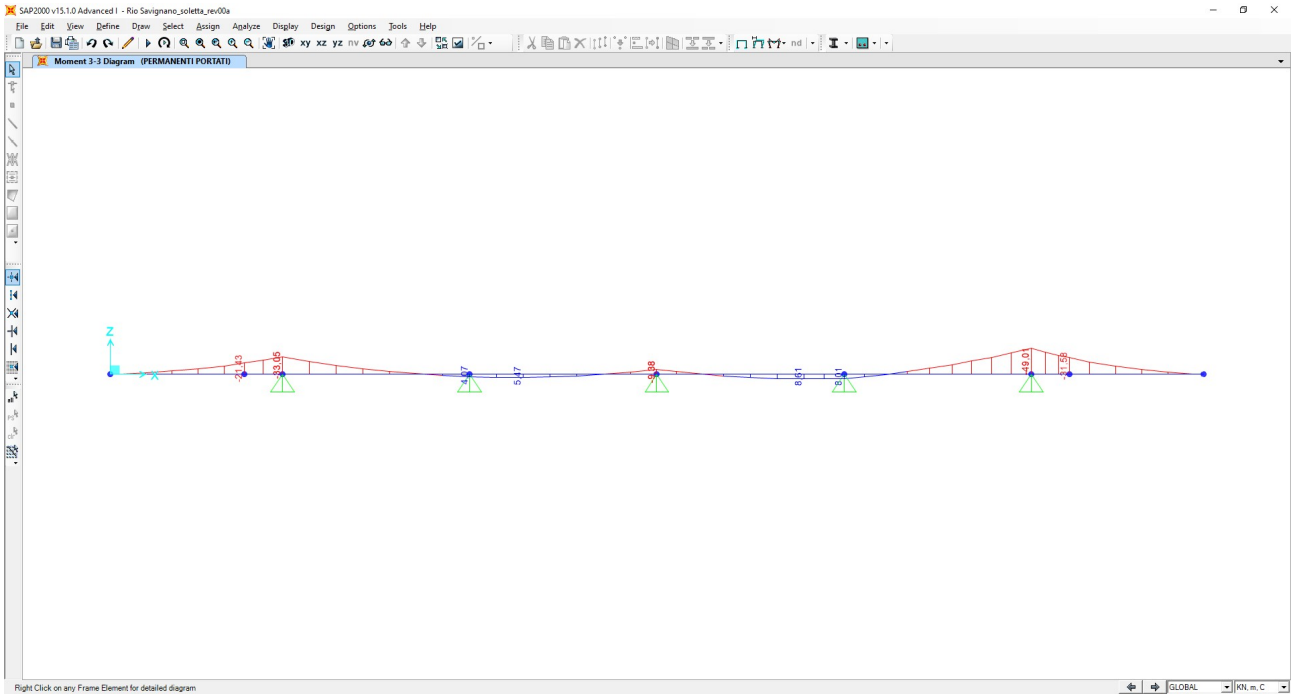
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto al peso proprio della soletta:



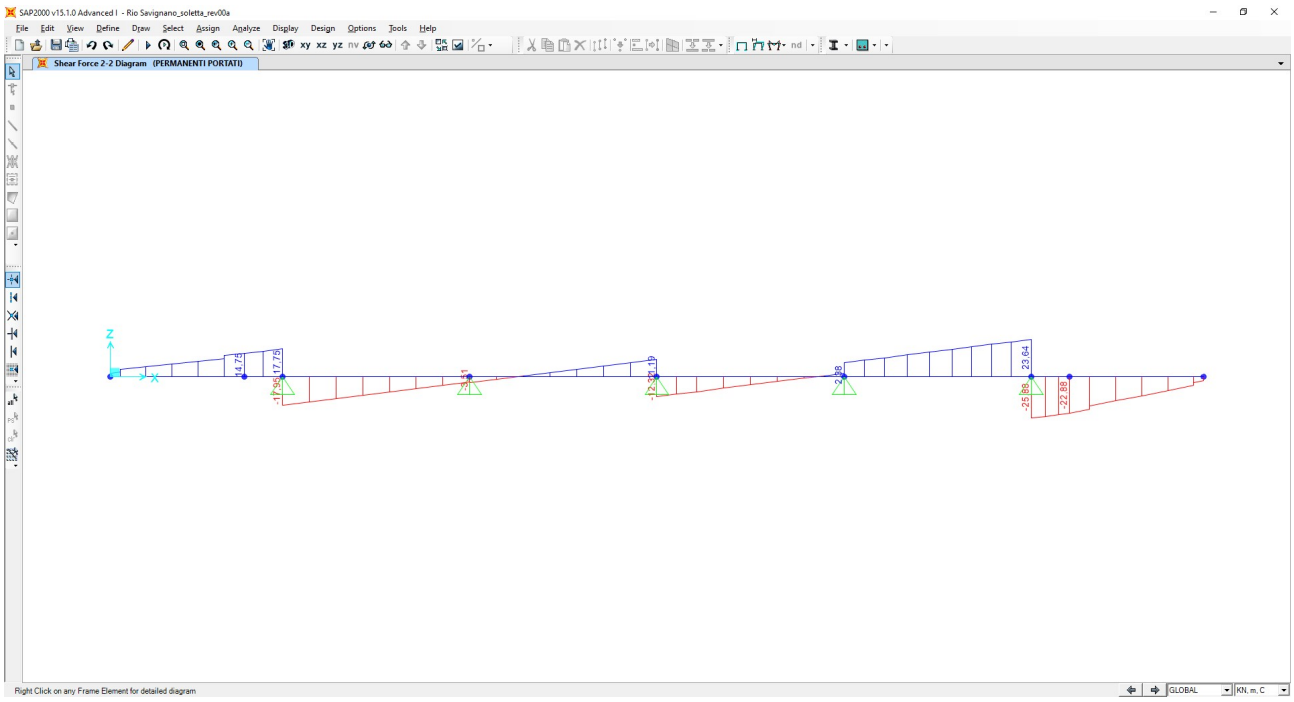

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto al peso proprio della soletta:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi permanenti portati:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi permanenti portati:



Nella sezione di mezzeria della campata le sollecitazioni provocate dal peso proprio e dai carichi permanenti, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

Peso proprio della soletta

**$M_{PP}$ = 6,27 kNm/m**

**$V_{PP}$ = 0,00 kN/m**

Carichi permanenti portati

**$M_{PERM}$ = 8,61 kNm/m**

**$V_{PERM}$ = 0,00 kN/m**

In corrispondenza degli appoggi intermedi le sollecitazioni provocate dal peso proprio e dai carichi permanenti, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

Peso proprio della soletta

**$M_{PP}$ = -10,77 kNm/m**

**$V_{PP}$ = -15,17 kN/m**

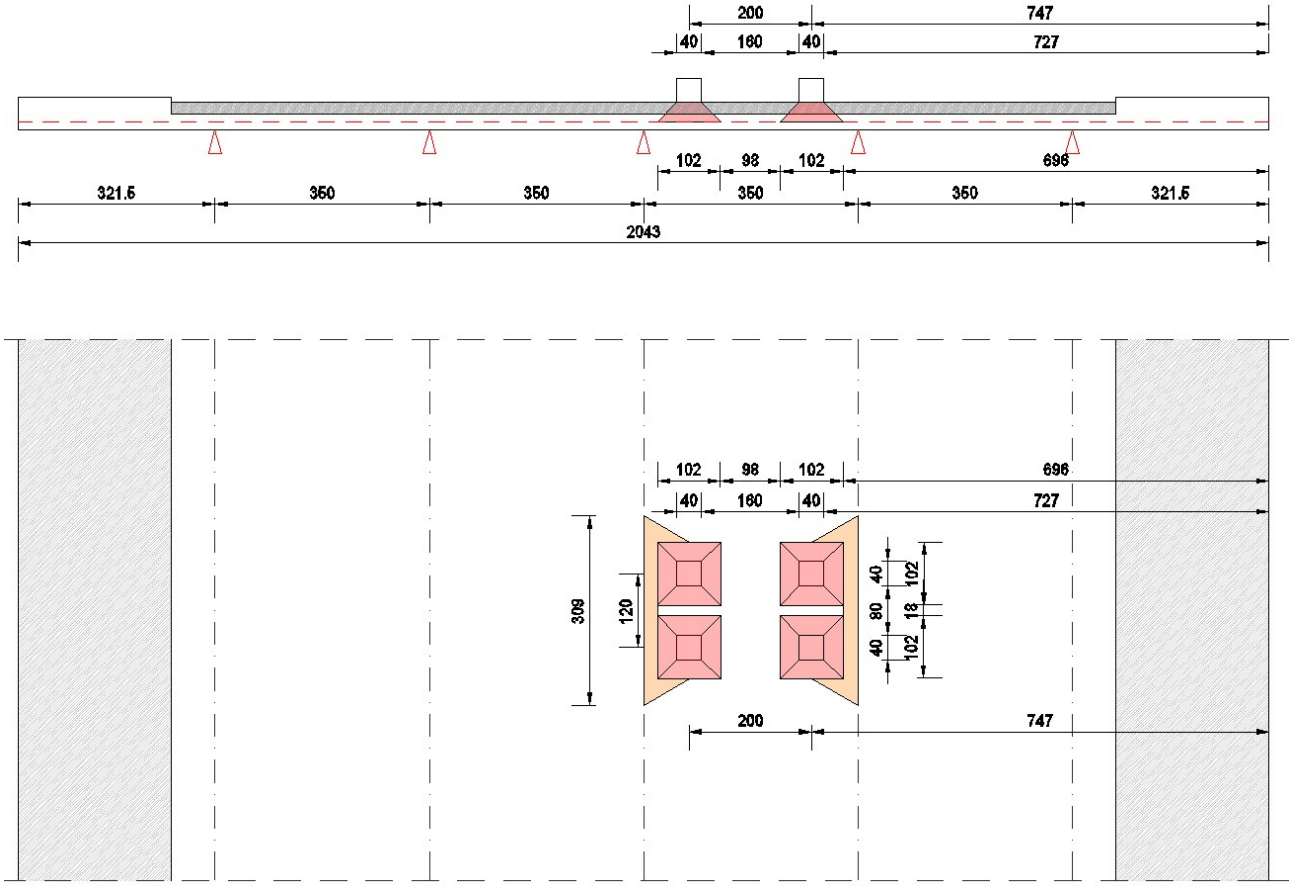
Carichi permanenti portati

**$M_{PERM}$ = -9,38 kNm/m**

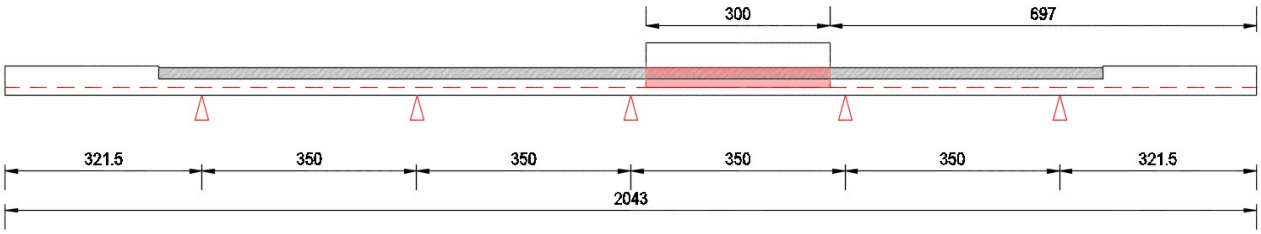
**$V_{PERM}$ = -12,32 kN/m**

### 13.4.2 CARICHI ACCIDENTALI DA TRAFFICO

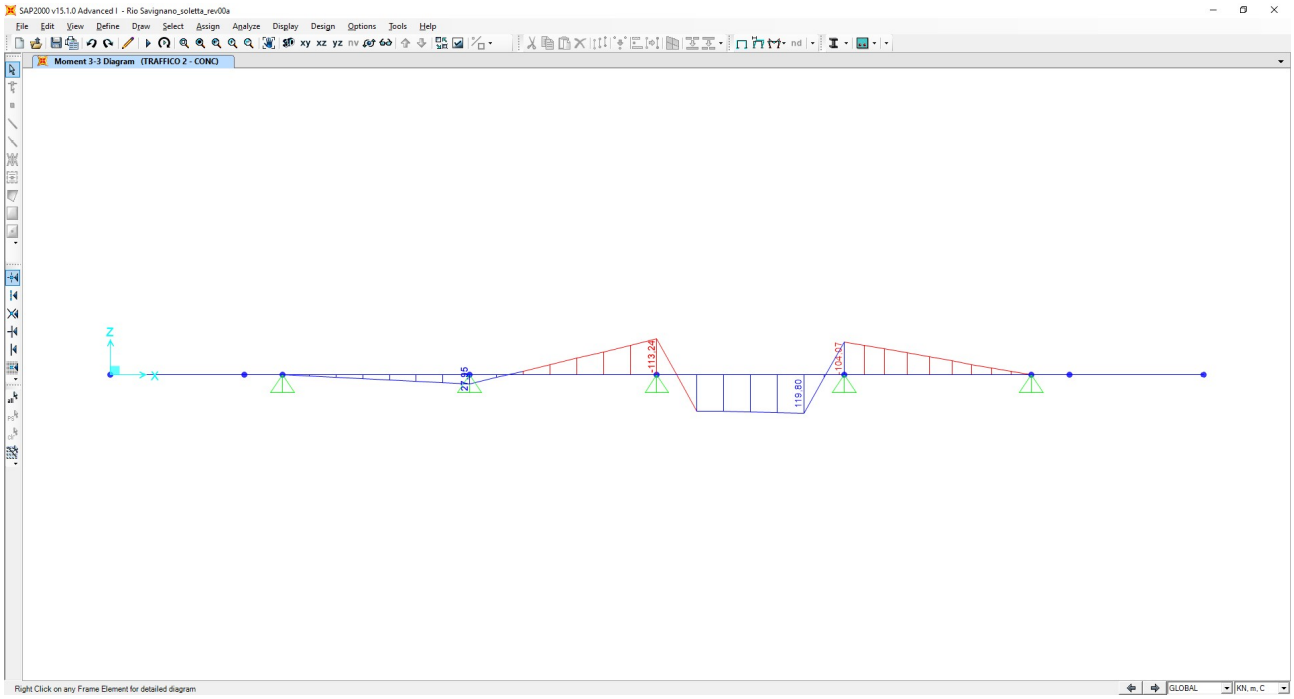
Al fine di determinare i valori massimi delle azioni sollecitanti sulla sezione di mezzeria delle campate interne è stata considerata una distribuzione dei carichi accidentali da traffico come riportato nelle immagini successive. Per quanto concerne i carichi concentrati le sollecitazioni sono ottenute come se il carico prodotto dalle impronte fosse distribuito su una striscia continua che diffonde i suoi effetti nel piano a 30° (assunzione giustificata da precedenti e più approfonditi studi analoghi, con modellazione della soletta a piastra). Risulta una striscia collaborante di soletta pari a 3,09 m.



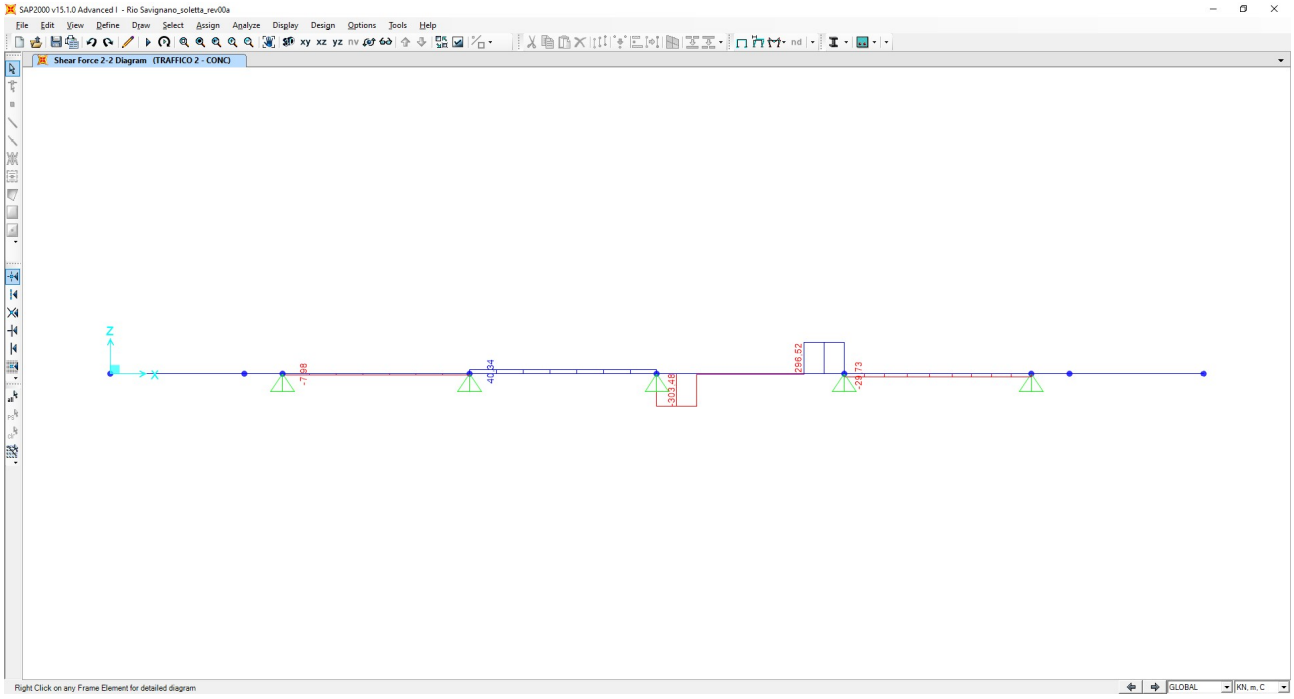

All'effetto dei carichi accidentali da traffico concentrati si aggiunge l'effetto dei carichi accidentali da traffico distribuiti, disposti come nell'immagine successiva:



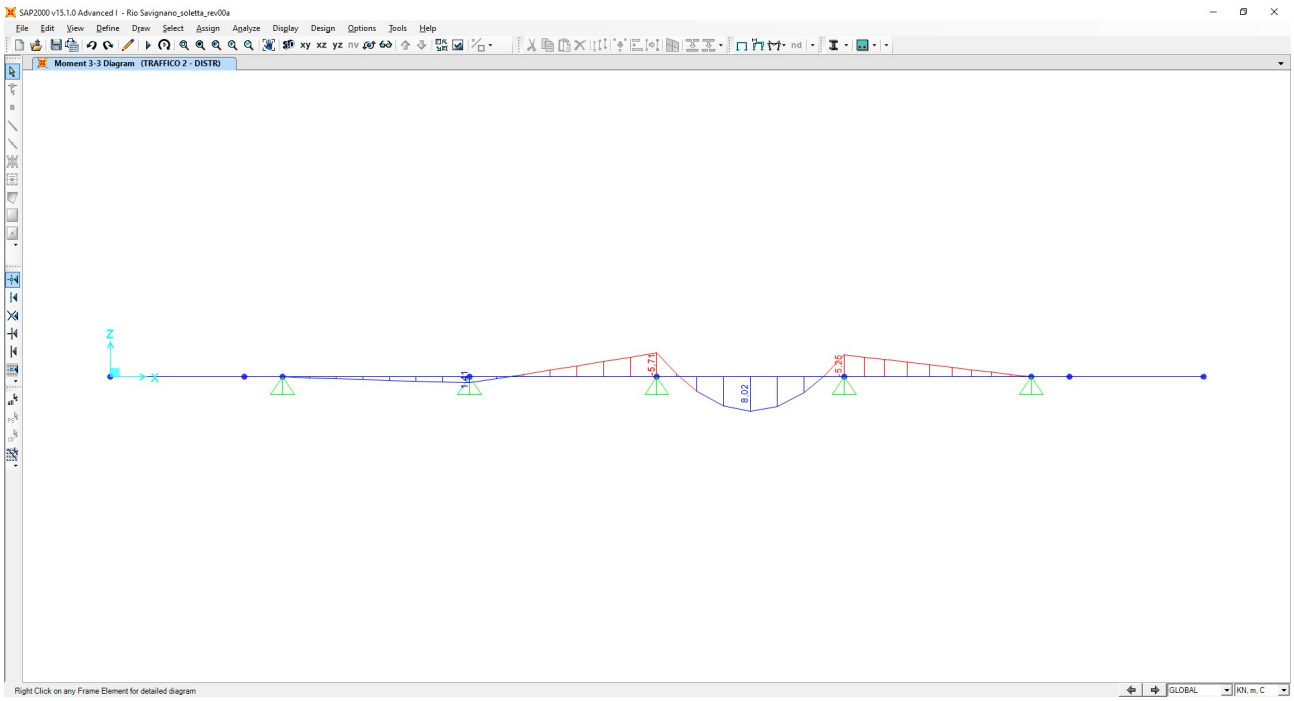
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da traffico concentrati:



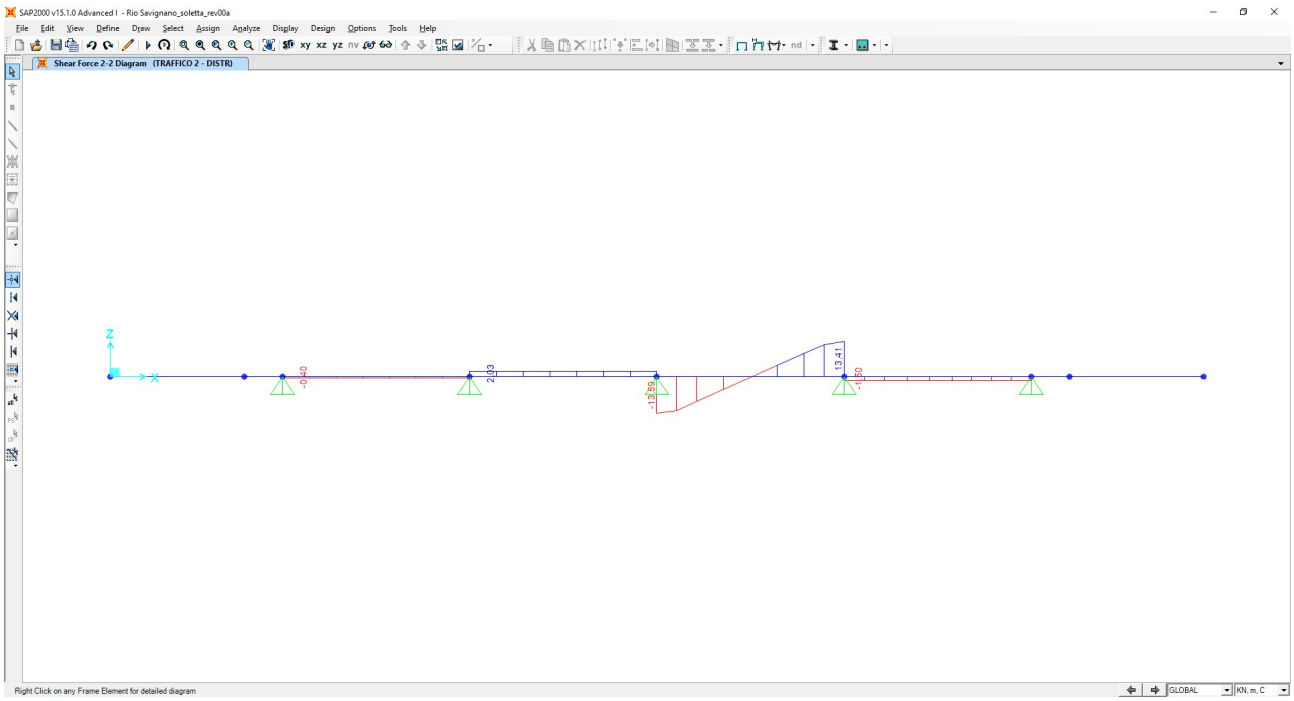

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da traffico concentrati:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da traffico distribuiti:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da traffico distribuiti:




Nella sezione di mezzeria della campata le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da traffico, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

**$M_{ACC}$ = 119,80 / 3,09 + 8,02 = 46,79 kNm/m**

**$V_{ACC}$ = 0,00 kN/m**

In corrispondenza degli appoggi intermedi le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da traffico, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

**$M_{ACC}$ = -113,24 / 3,09 - 5,71 = -42,36 kNm/m**

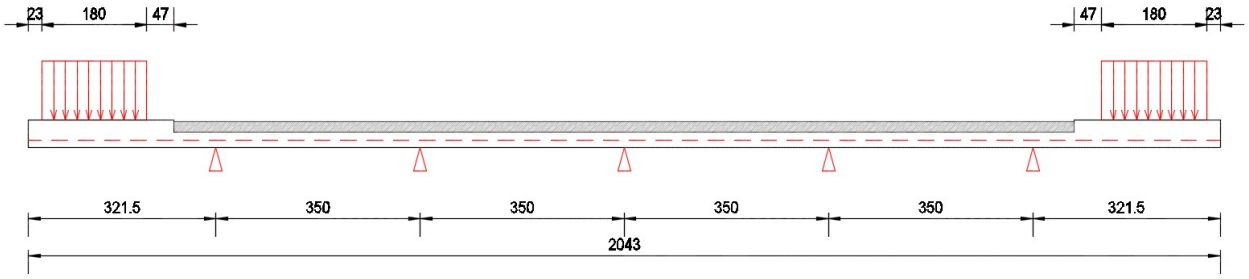
**$V_{ACC}$ = -303,48 / 3,09 - 13,59 = -111,80 kN/m**

### 13.4.3 CARICHI ACCIDENTALI DA FOLLA COMPATTA

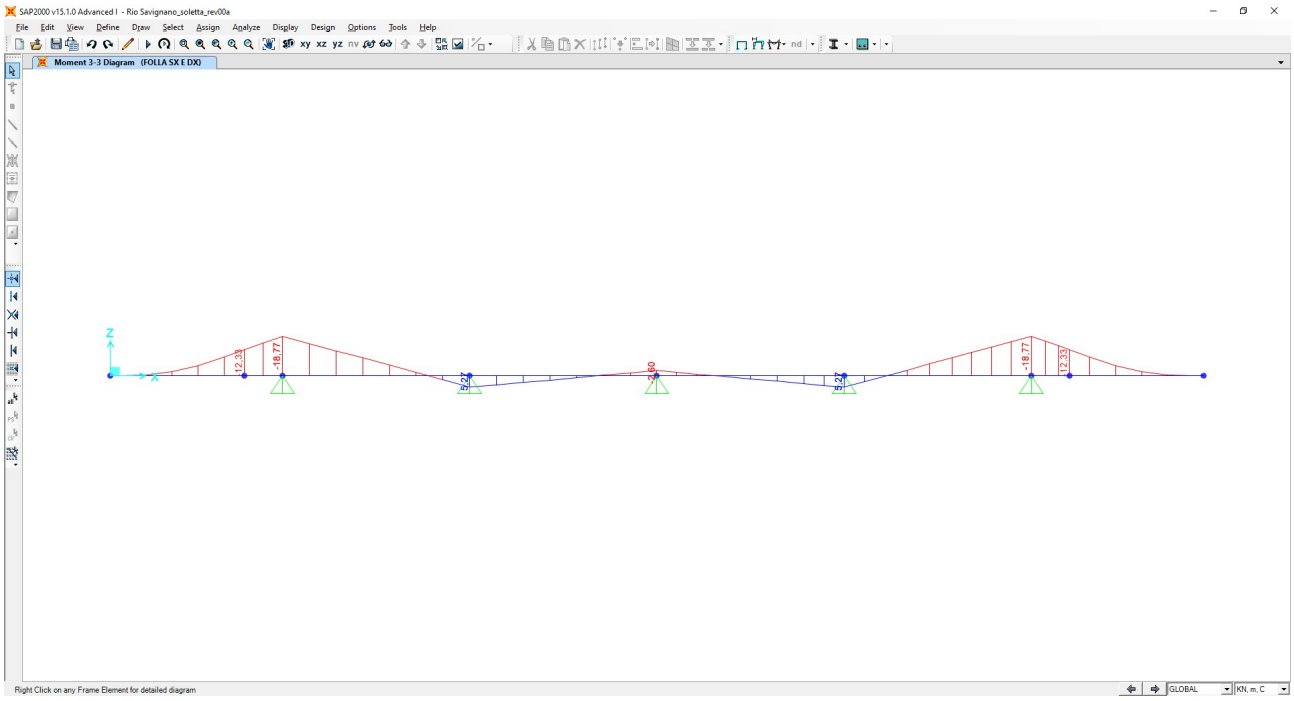
Il carico da folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, è assunto pari a **5,00 kN/m²**.

Il valore di combinazione (carico da traffico preponderante) è invece assunto pari a **2,50 kN/m²**.

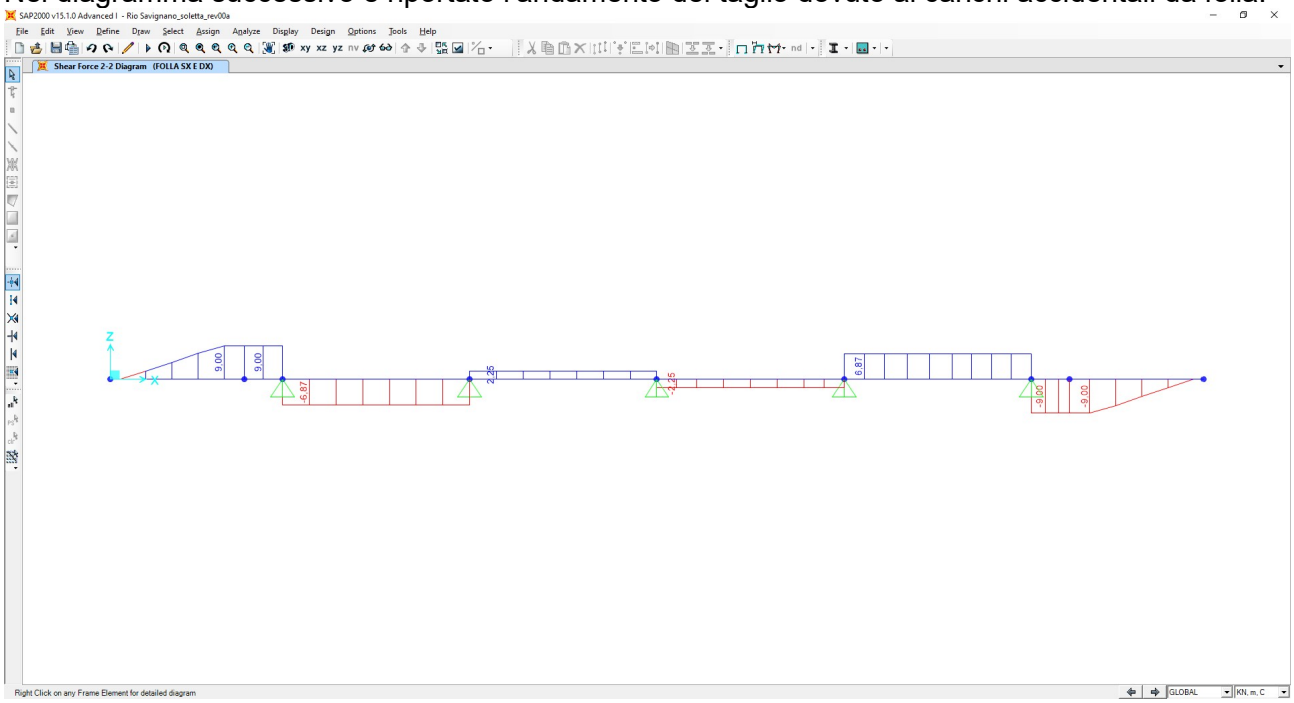
Al fine di determinare i valori massimi delle azioni sollecitanti sulla sezione di spiccato dello sbalzo è stata considerata una distribuzione dei carichi accidentali da folla come riportato nelle immagini successive.



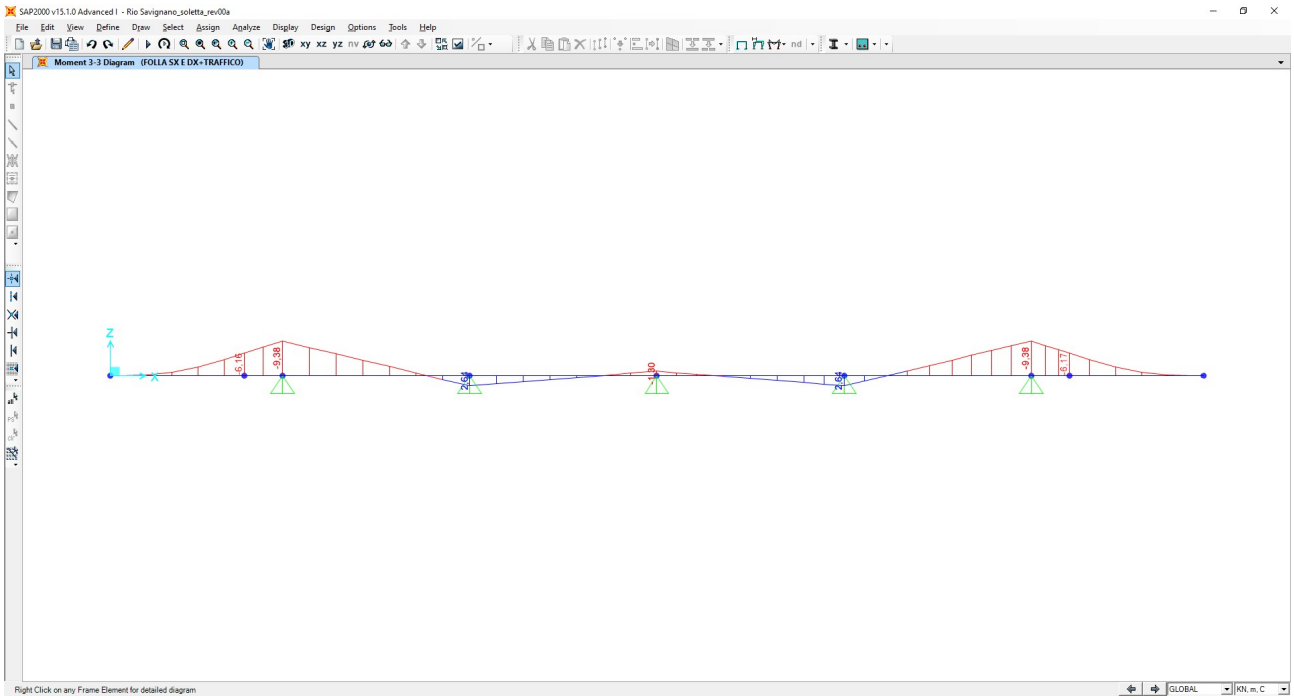

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da folla:



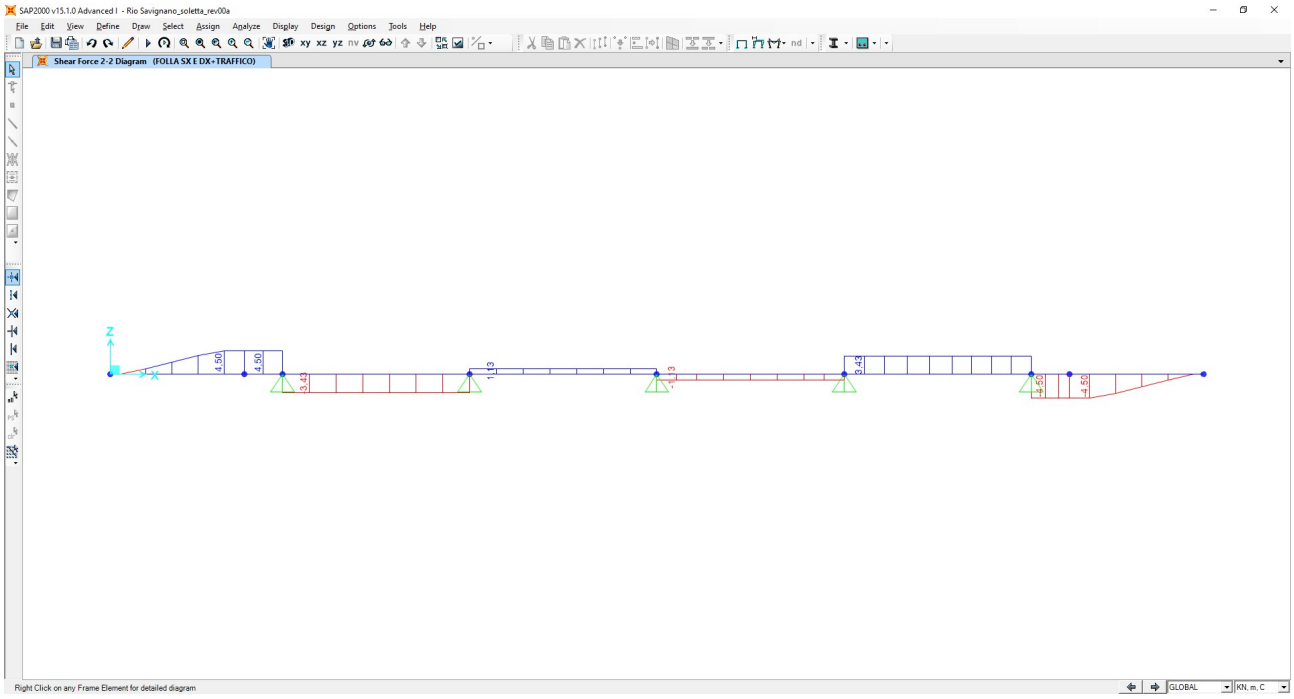
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da folla:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da folla + carichi accidentali da traffico:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da folla + carichi accidentali da traffico:




Carico accidentale da folla

Nella sezione di mezzeria della campata le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da folla applicati secondo lo schema riportato precedentemente ed agenti con intensità nominale pari a **5,00 kN/m²**, risultano pari a:

- **$M_{ACC}$ = 5,27 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = 0 kN/m**

Carico accidentale da folla + carichi accidentali da traffico

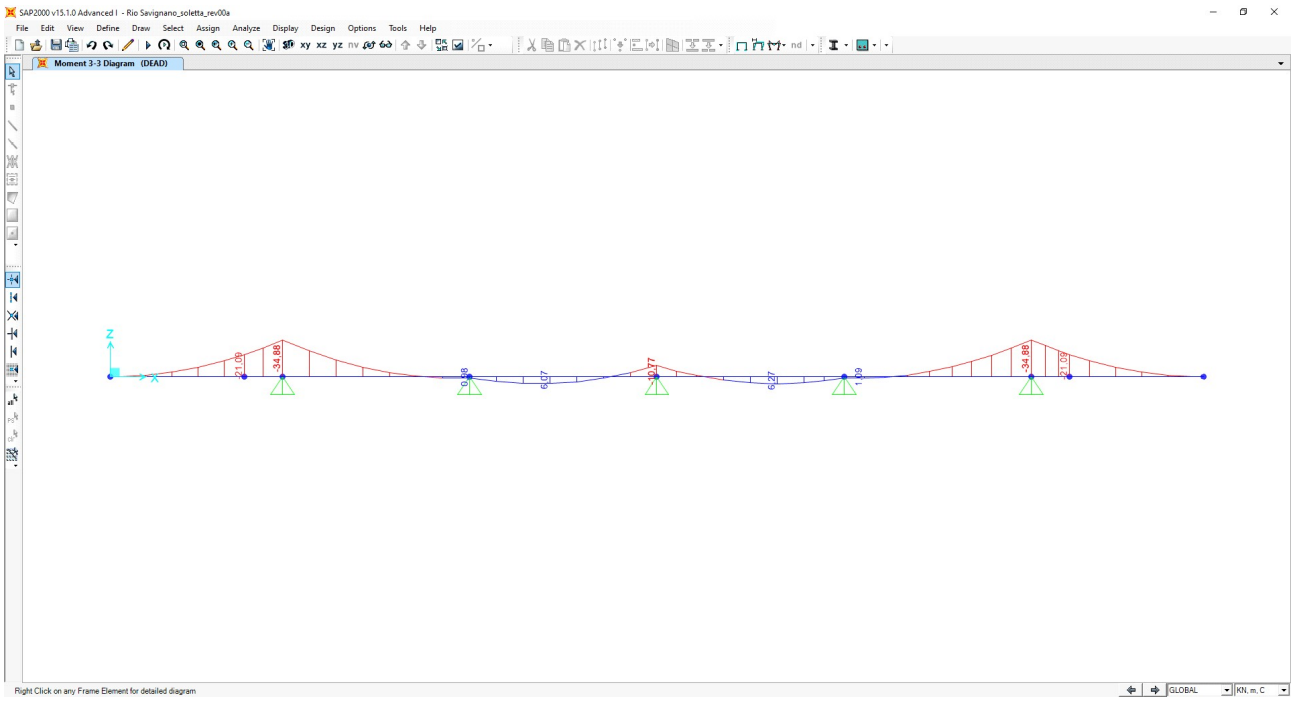
In corrispondenza degli appoggi intermedi le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da folla applicati secondo lo schema riportato precedentemente ed agenti con carico da traffico preponderante (carico da folla pari a **2,50 kN/m²**), risultano pari a:

- **$M_{ACC}$ = -1,30 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = -1,13 kN/m**

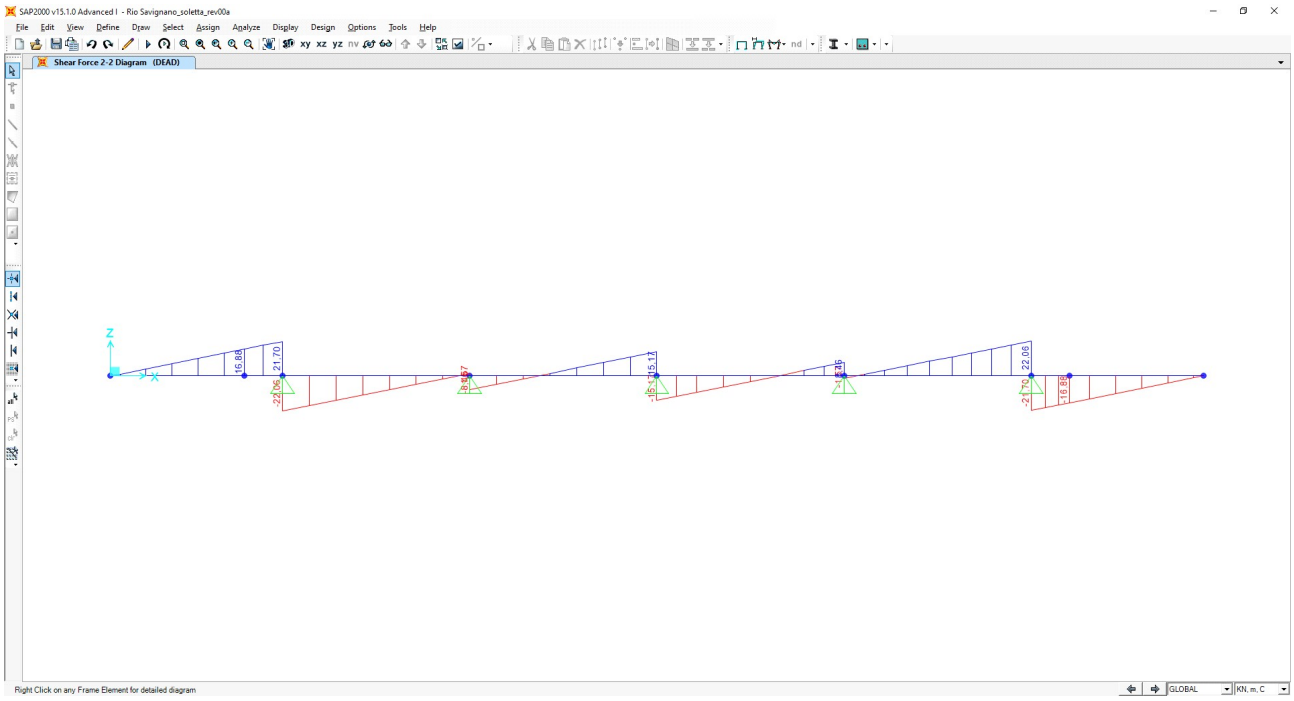
## 13.5 CALCOLO DELLE AZIONI SOLLECITANTI – SEZIONE DI APPOGGIO

### 13.5.1 PESO PROPRIO E CARICHI PERMANENTI PORTATI

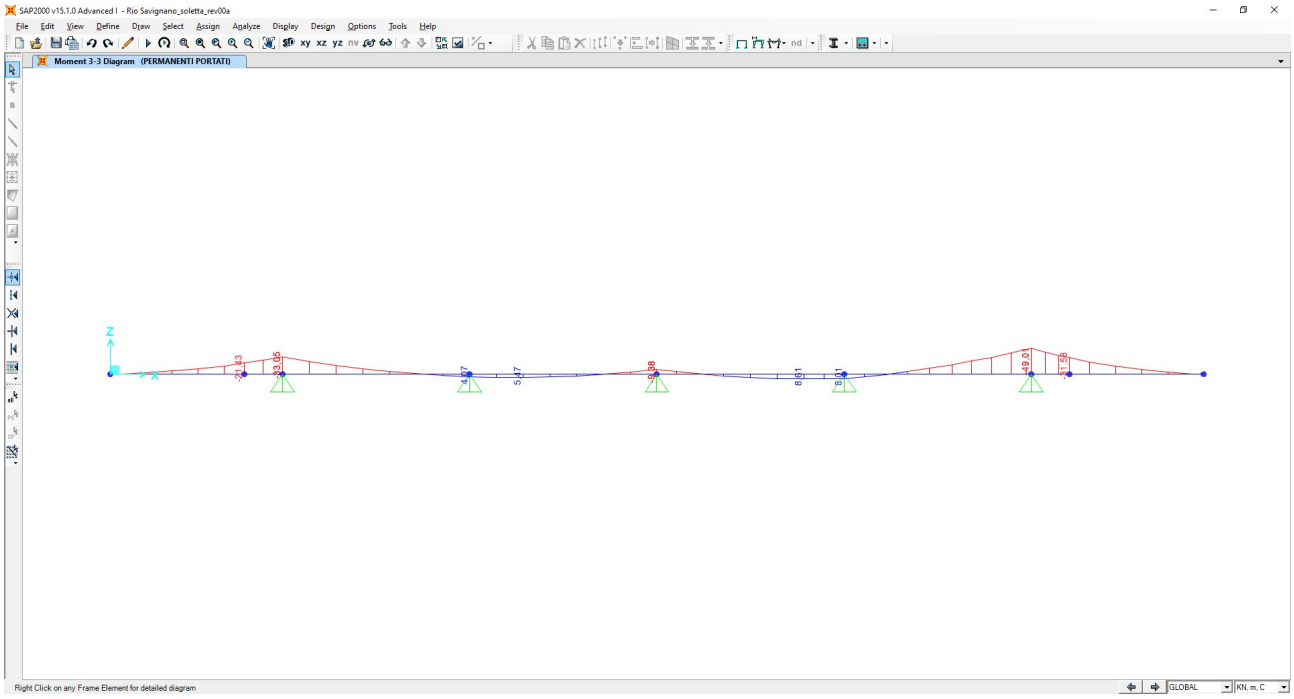
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto al peso proprio della soletta:



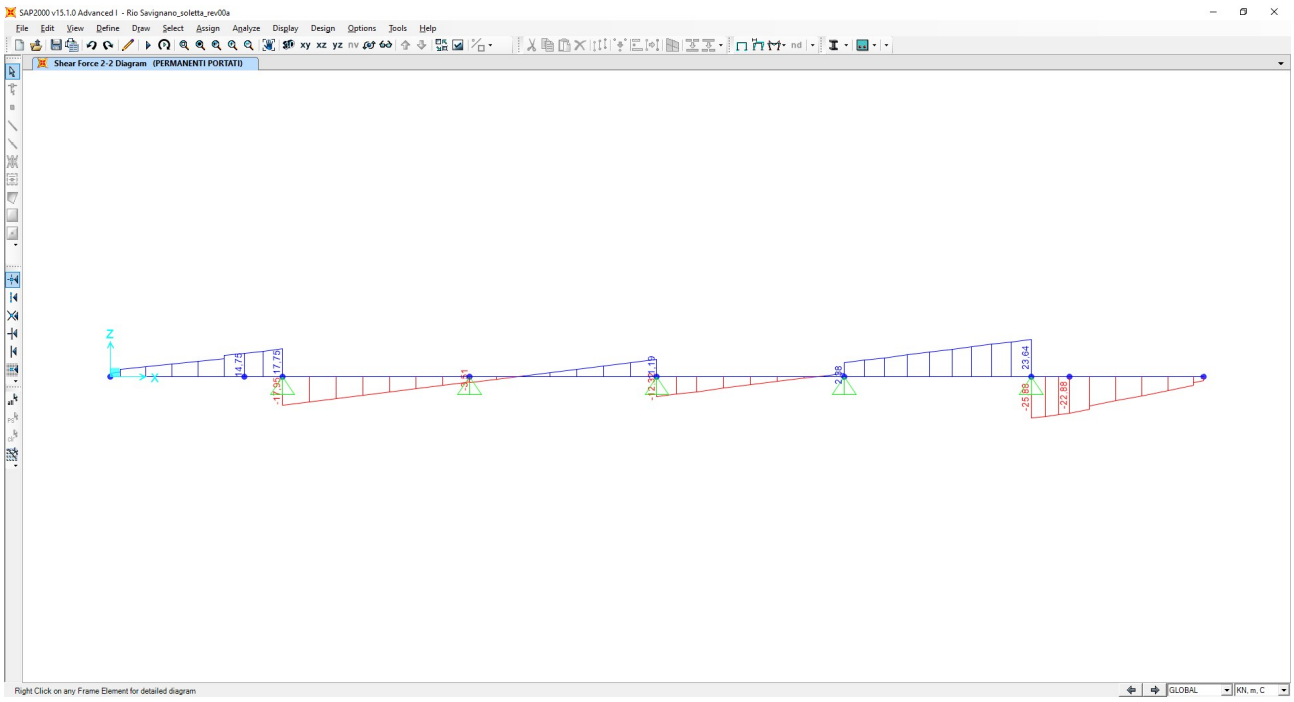

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto al peso proprio della soletta:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi permanenti portati:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi permanenti portati:



Nella sezione di mezzeria della campata le sollecitazioni provocate dal peso proprio e dai carichi permanenti, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

Peso proprio della soletta

**$M_{PP}$ = 6,27 kNm/m**

**$V_{PP}$ = 0,00 kN/m**

Carichi permanenti portati

**$M_{PERM}$ = 8,61 kNm/m**

**$V_{PERM}$ = 0,00 kN/m**

In corrispondenza degli appoggi intermedi le sollecitazioni provocate dal peso proprio e dai carichi permanenti, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

Peso proprio della soletta

**$M_{PP}$ = -10,77 kNm/m**

**$V_{PP}$ = -15,17 kN/m**

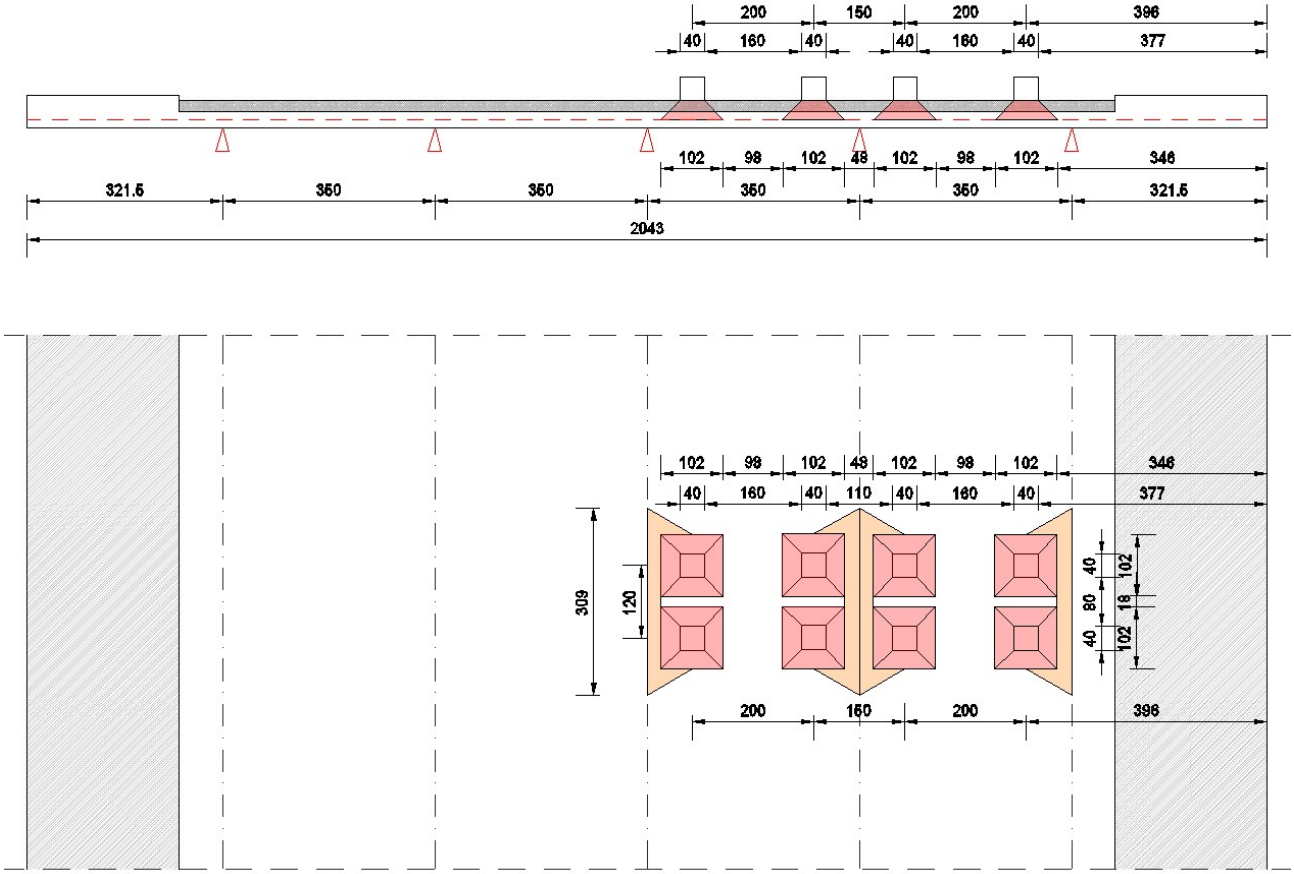
Carichi permanenti portati

**$M_{PERM}$ = -9,38 kNm/m**

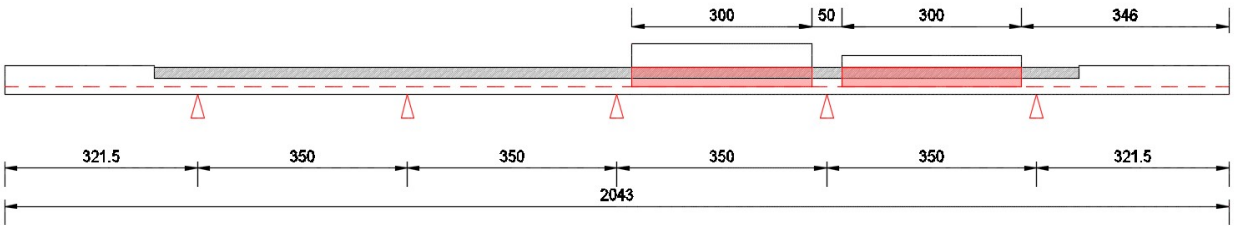
**$V_{PERM}$ = -12,32 kN/m**

### 13.5.2 CARICHI ACCIDENTALI DA TRAFFICO

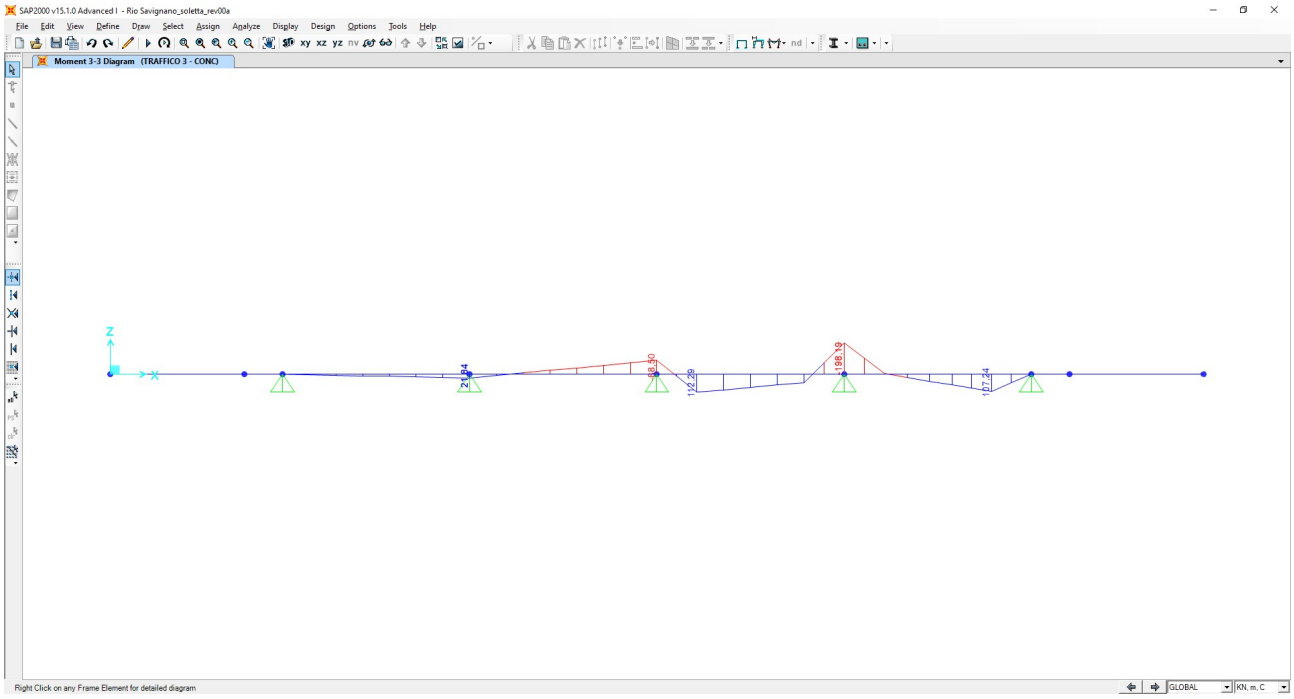
Al fine di determinare i valori massimi delle azioni sollecitanti sulla sezione di mezzeria delle campate interne è stata considerata una distribuzione dei carichi accidentali da traffico come riportato nelle immagini successive. Per quanto concerne i carichi concentrati le sollecitazioni sono ottenute come se il carico prodotto dalle impronte fosse distribuito su una striscia continua che diffonde i suoi effetti nel piano a 30° (assunzione giustificata da precedenti e più approfonditi studi analoghi, con modellazione della soletta a piastra). Risulta una striscia collaborante di soletta pari a 3,09 m.



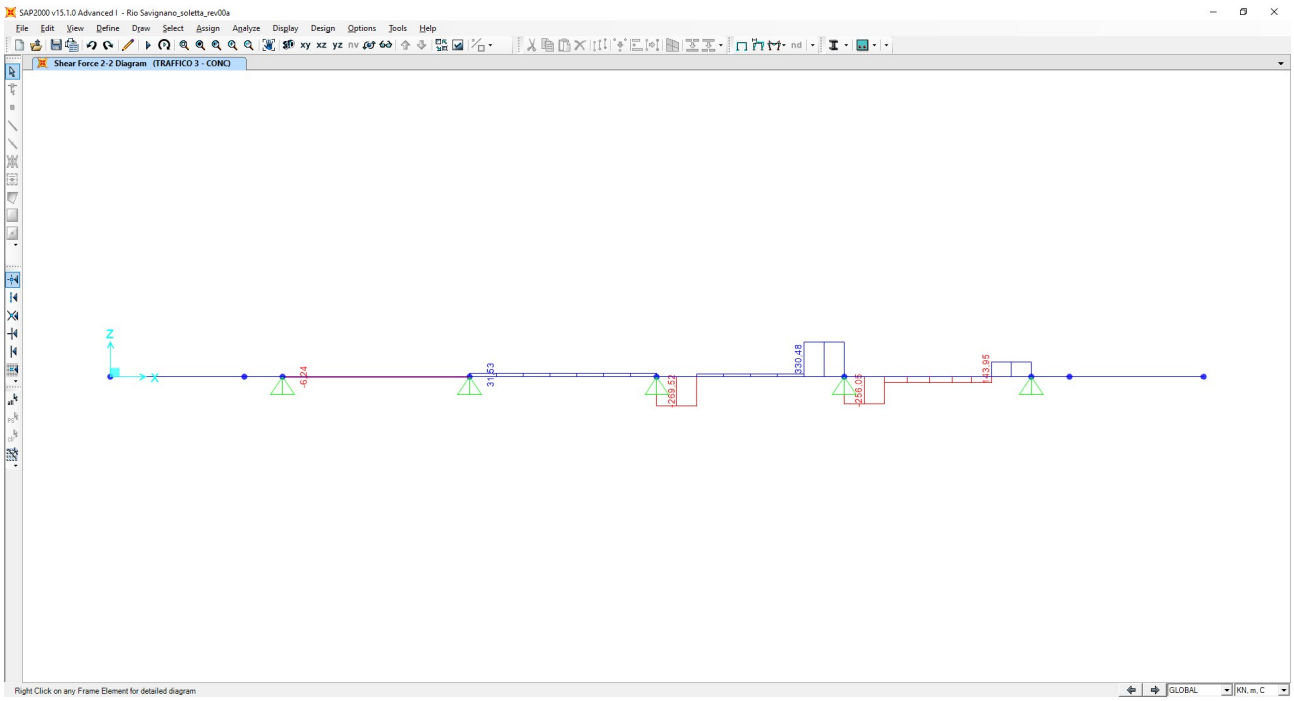

All'effetto dei carichi accidentali da traffico concentrati si aggiunge l'effetto dei carichi accidentali da traffico distribuiti, disposti come nell'immagine successiva:



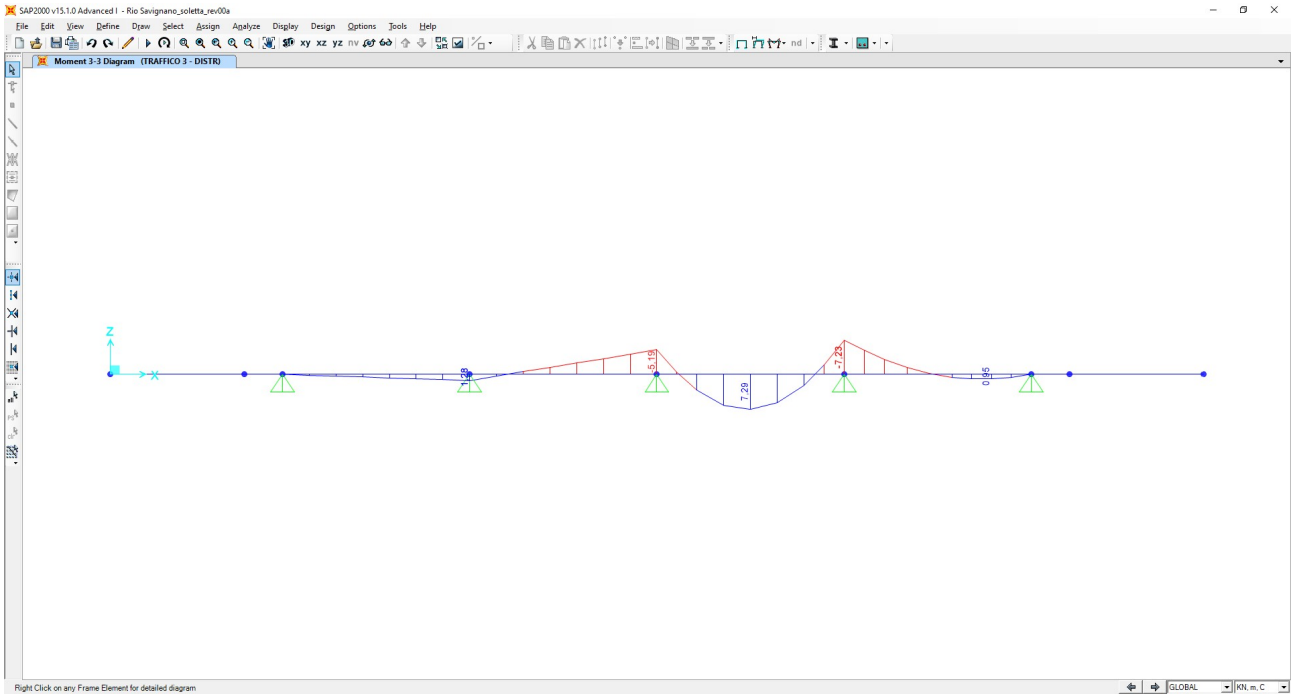
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da traffico concentrati:



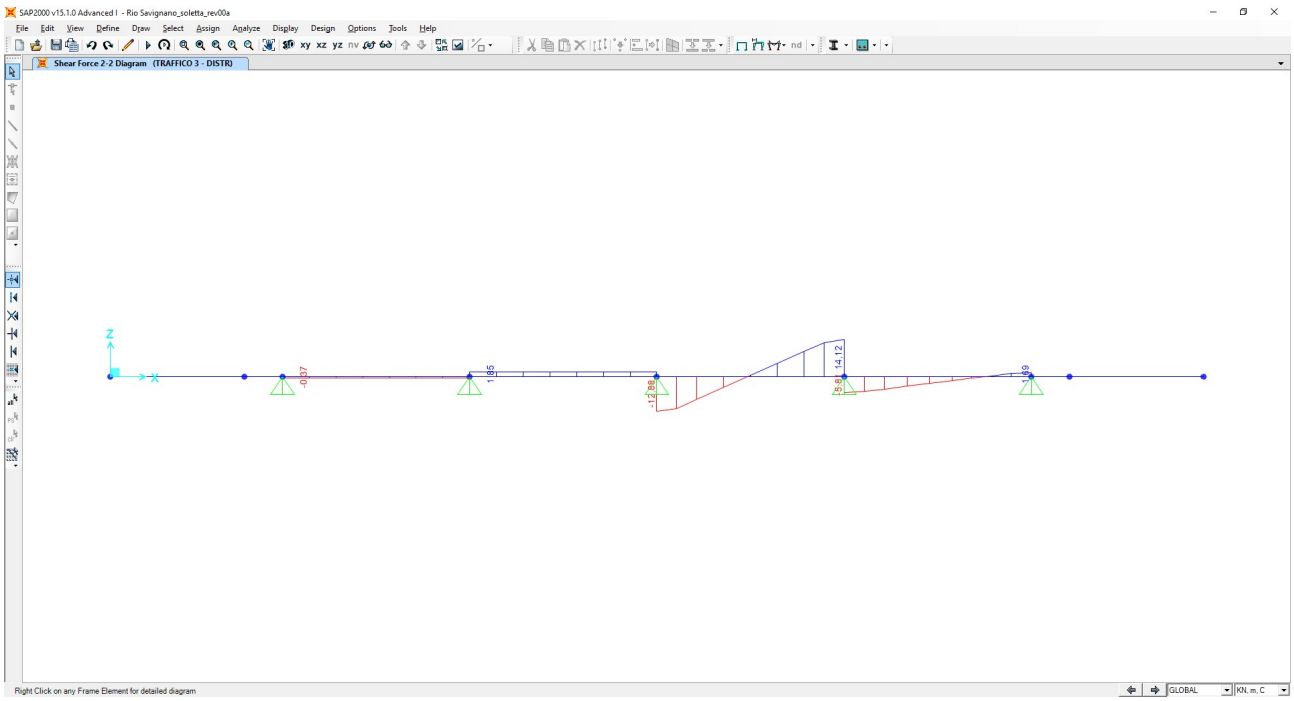

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da traffico concentrati:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da traffico distribuiti:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da traffico distribuiti:



Nella sezione di mezzeria della campata le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da traffico, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

**$M_{ACC}$ = 112,29 / 3,09 + 7,29 = 43,63 kNm/m**

**$V_{ACC}$ = 0,00 kN/m**

In corrispondenza degli appoggi intermedi le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da traffico, applicati secondo lo schema riportato precedentemente, risultano pari a:

**$M_{ACC}$ = -198,19 / 3,09 - 7,23 = -71,37 kNm/m**

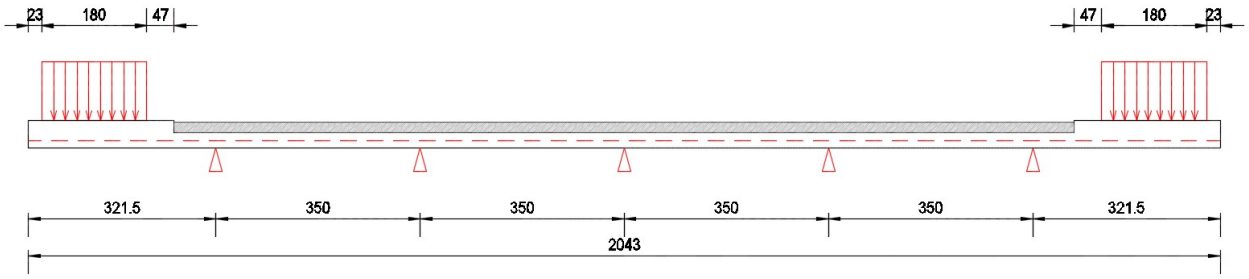
**$V_{ACC}$ = 330,48 / 3,09 + 14,12 = 121,07 kN/m**

### 13.5.3 CARICHI ACCIDENTALI DA FOLLA COMPATTA

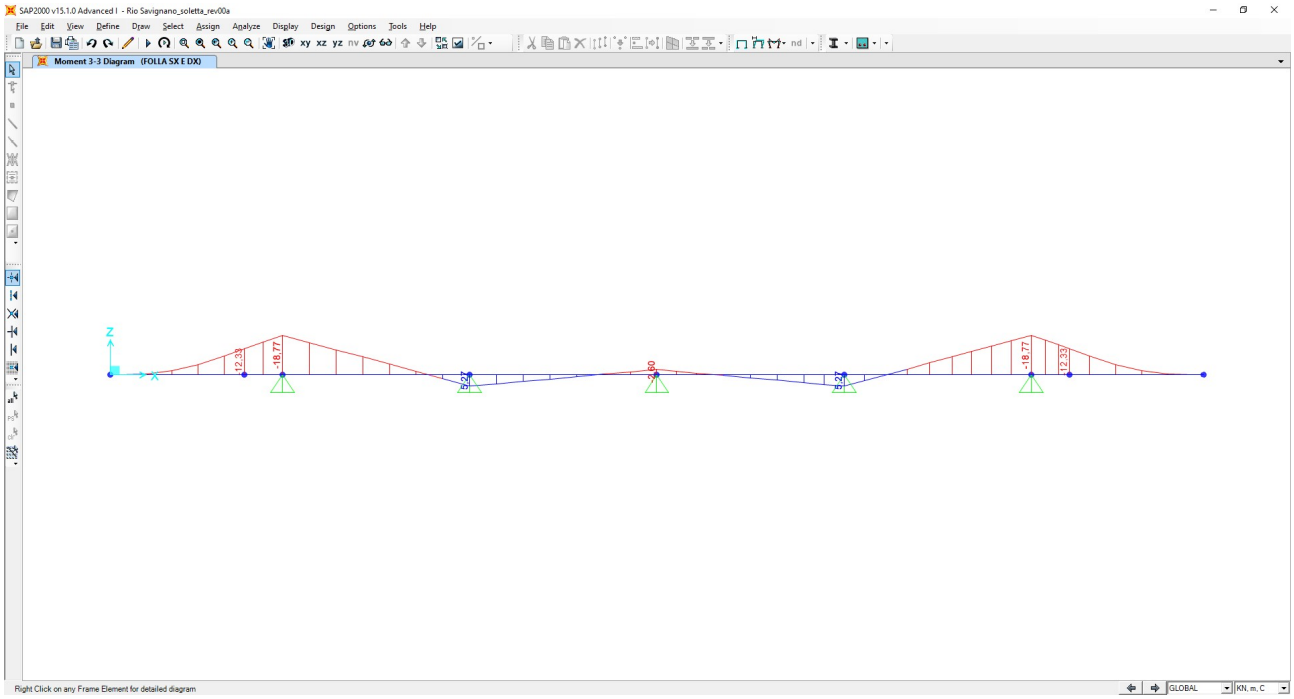
Il carico da folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, è assunto pari a **5,00 kN/m²**.

Il valore di combinazione (carico da traffico preponderante) è invece assunto pari a **2,50 kN/m²**.

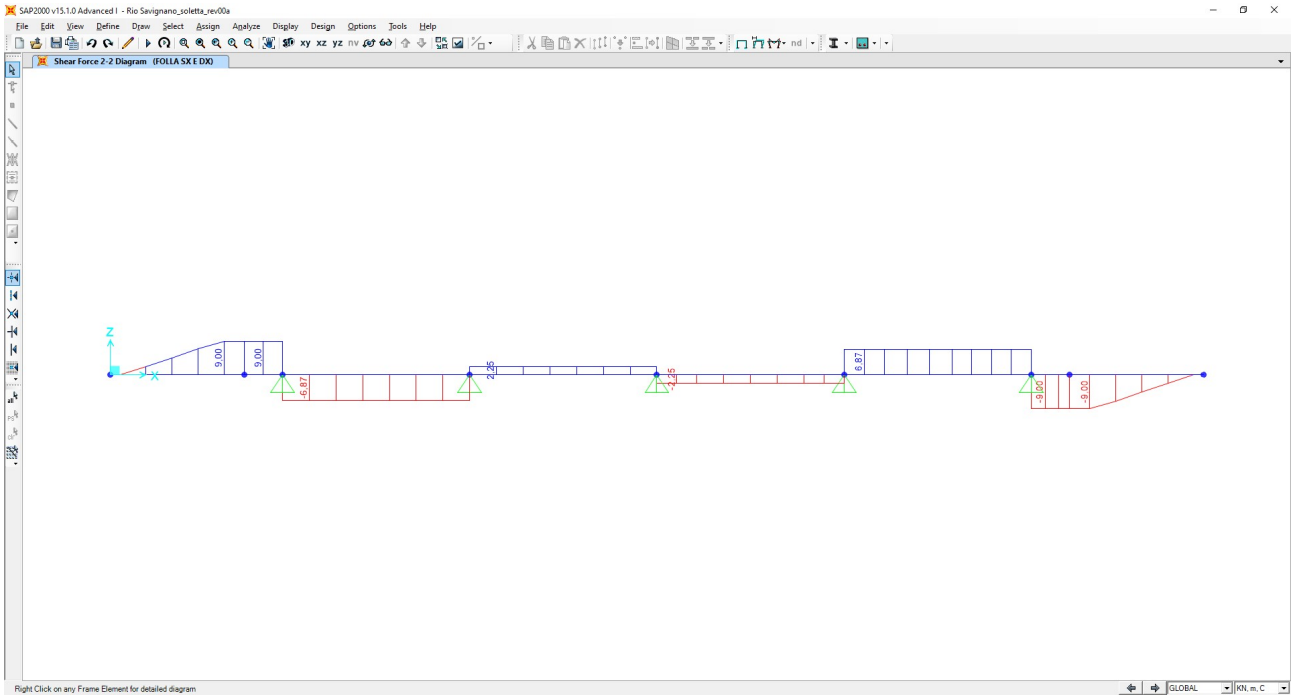
Al fine di determinare i valori massimi delle azioni sollecitanti sulla sezione di spiccato dello sbalzo è stata considerata una distribuzione dei carichi accidentali da folla come riportato nelle immagini successive



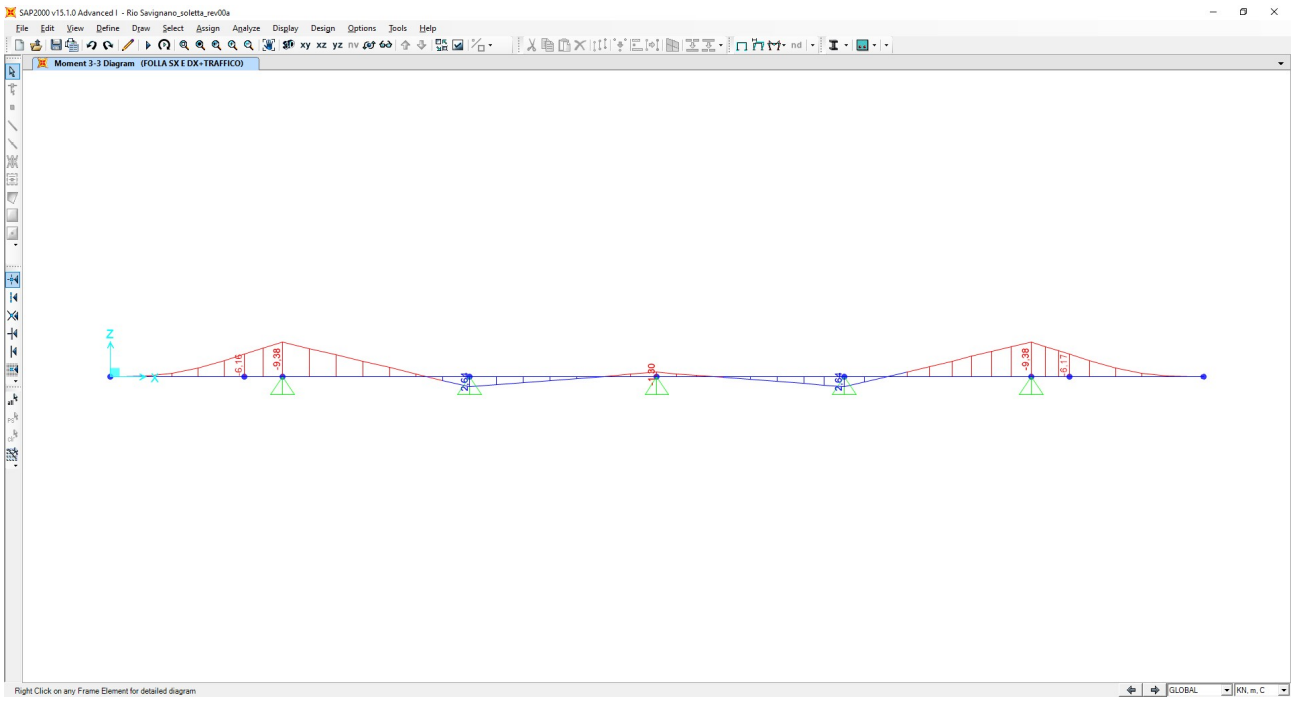

Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da folla:



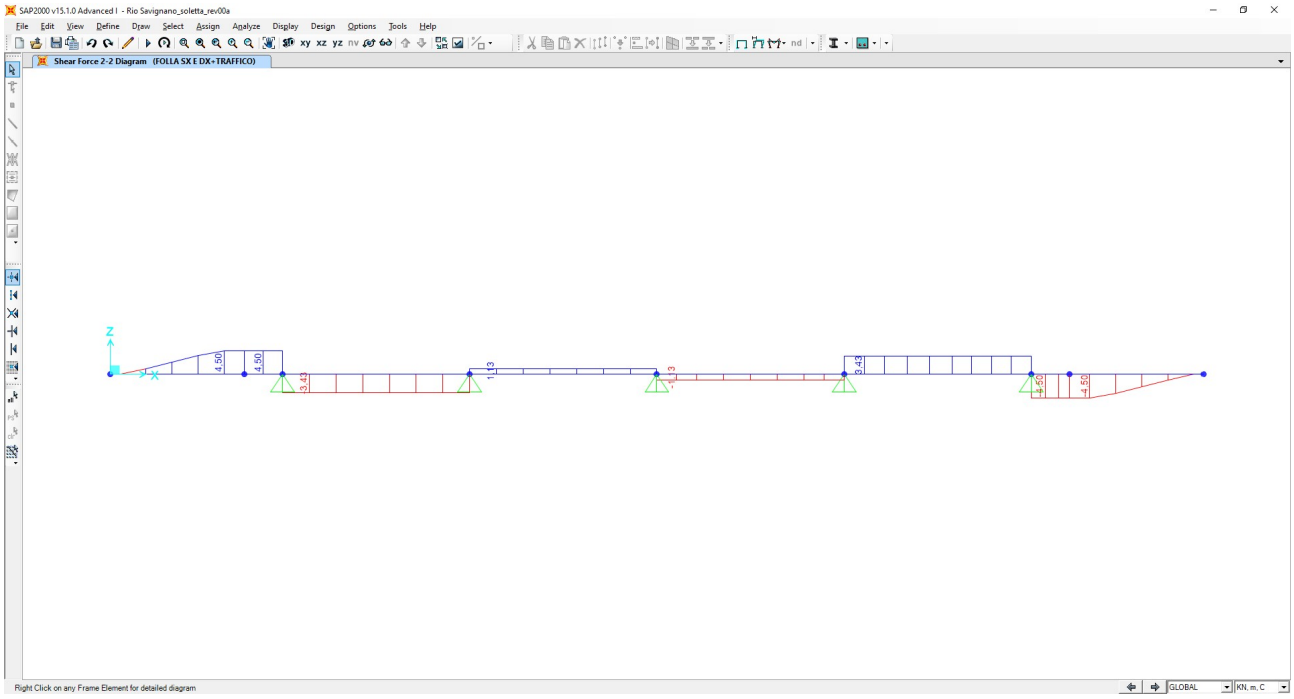
Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da folla:




Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi accidentali da folla + carichi accidentali da traffico:



Nel diagramma successivo è riportato l'andamento del taglio dovuto ai carichi accidentali da folla + carichi accidentali da traffico:




Carico accidentale da folla

Nella sezione di mezzeria della campata le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da folla applicati secondo lo schema riportato precedentemente ed agenti con intensità nominale pari a **5,00 kN/m²**, risultano pari a:

- **$M_{ACC}$ = 5,27 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = 0 kN/m**

Carico accidentale da folla + carichi accidentali da traffico

In corrispondenza degli appoggi intermedi le sollecitazioni provocate dai carichi accidentali da folla applicati secondo lo schema riportato precedentemente ed agenti con carico da traffico preponderante (carico da folla pari a **2,50 kN/m²**), risultano pari a:

- **$M_{ACC}$ = -1,30 kNm/m**
- **$V_{ACC}$ = -1,13 kN/m**

## 13.6 RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI

Nelle tabelle successive si riportano per ciascuna sezione di verifica i valori caratteristici delle azioni flettenti e taglianti sulle differenti sezioni di verifica:

**AZIONI FLETTENTI SOLLECITANTI - VALORI CARATTERISTICI**

| CARICO | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | -57,28 | 46,79 | -71,37 |
| Carichi accidentali da folla compatta | -18,77 | 5,27 | -1,30 |
| Urto da autoveicolo in svio - valutazione standard | -90,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in svio - Quaderno Tecnico ANAS n.5 | -31,22 | 0,00 | 0,00 |

**AZIONI TAGLIANTI SOLLECITANTI - VALORI CARATTERISTICI**

| CARICO | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | 113,20 | 0,00 | 121,07 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 9,00 | 0,00 | 1,13 |
| Urto da autoveicolo in svio - valutazione standard | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in svio - Quaderno Tecnico ANAS n.5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Nelle tabelle successive è riportata la determinazione delle azioni flettenti di calcolo per ciascuna sezione di verifica e per le differenti combinazioni di carico considerate:

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - QUASI PERMANENTE**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -83,89 | 14,88 | -20,15 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - FREQUENTE 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,75 | -42,96 | 35,09 | -53,53 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -126,85 | 49,97 | -73,68 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - FREQUENTE 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,75 | -14,08 | 3,95 | -0,98 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -97,97 | 18,83 | -21,13 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 1,00 | -57,28 | 46,79 | -71,37 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,40 | -7,51 | 2,11 | -0,52 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -148,68 | 63,78 | -92,04 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,75 | -42,96 | 35,09 | -53,53 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 1,00 | -18,77 | 5,27 | -1,30 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -145,62 | 55,24 | -74,98 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 03**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 1,00 | -57,28 | 46,79 | -71,37 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -141,17 | 61,67 | -91,52 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 04**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 1,00 | -18,77 | 5,27 | -1,30 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -102,66 | 20,15 | -21,45 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | -47,09 | 8,46 | -14,54 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | -73,52 | 12,92 | -14,07 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 1,00 | -77,33 | 63,17 | -96,35 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 0,75 | -19,00 | 5,34 | -1,32 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -216,94 | 89,88 | -126,28 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | -47,09 | 8,46 | -14,54 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | -73,52 | 12,92 | -14,07 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 0,75 | -58,00 | 47,37 | -72,26 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 1,00 | -25,34 | 7,11 | -1,76 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -203,94 | 75,87 | -102,63 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 03**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | -47,09 | 8,46 | -14,54 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | -73,52 | 12,92 | -14,07 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 1,00 | -77,33 | 63,17 | -96,35 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -197,93 | 84,55 | -124,96 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 04**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | -47,09 | 8,46 | -14,54 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | -73,52 | 12,92 | -14,07 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 1,00 | -25,34 | 7,11 | -1,76 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -145,94 | 28,49 | -30,36 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - ECCEZIONALE 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,00 | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | 1,00 | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,00 | 1,00 | -57,28 | 46,79 | -71,37 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,00 | 1,00 | -18,77 | 5,27 | -1,30 |
| Urto da autoveicolo in svio - valutazione standard | 1,00 | 1,00 | -90,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | -249,94 | 66,94 | -92,82 |

**AZIONI FLETTENTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - ECCEZIONALE 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kNm/m] | MEZZERIA CAMPATE [kNm/m] | APPOGGI INTERMEDI [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,00 | 1,00 | -34,88 | 6,27 | -10,77 |
| Carichi permanenti portati | 1,00 | 1,00 | -49,01 | 8,61 | -9,38 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,00 | 1,00 | -57,28 | 46,79 | -71,37 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,00 | 1,00 | -18,77 | 5,27 | -1,30 |
| Urto da autoveicolo in svio - Quaderno tecnico ANAS | 1,00 | 1,00 | -31,22 | 0,00 | 0,00 |
| **TOTALE** | | | **-191,16** | **66,94** | **-92,82** |

Nelle tabelle successive è riportata la determinazione delle azioni di taglio di calcolo per ciascuna sezione di verifica e per le differenti combinazioni di carico considerate:

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - QUASI PERMANENTE**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 47,58 | 0,00 | 27,49 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - FREQUENTE 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,75 | 84,90 | 0,00 | 90,80 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 132,48 | 0,00 | 118,29 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - FREQUENTE 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,75 | 6,75 | 0,00 | 0,85 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 54,33 | 0,00 | 28,34 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 1,00 | 113,20 | 0,00 | 121,07 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,40 | 3,60 | 0,00 | 0,45 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 164,38 | 0,00 | 149,01 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,75 | 84,90 | 0,00 | 90,80 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 1,00 | 9,00 | 0,00 | 1,13 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 141,48 | 0,00 | 119,42 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 03**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 1,00 | 113,20 | 0,00 | 121,07 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 160,78 | 0,00 | 148,56 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO - CARATTERISTICA 04**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | - | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | - | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | - | 1,00 | 9,00 | 0,00 | 1,13 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 56,58 | 0,00 | 28,62 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 01**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | 29,30 | 0,00 | 20,48 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | 38,82 | 0,00 | 18,48 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 1,00 | 152,82 | 0,00 | 163,44 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 0,40 | 4,86 | 0,00 | 0,61 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 225,80 | 0,00 | 203,01 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 02**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | 29,30 | 0,00 | 20,48 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | 38,82 | 0,00 | 18,48 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 0,75 | 114,62 | 0,00 | 122,58 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 1,00 | 12,15 | 0,00 | 1,53 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 194,88 | 0,00 | 163,07 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 03**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | 29,30 | 0,00 | 20,48 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | 38,82 | 0,00 | 18,48 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 1,00 | 152,82 | 0,00 | 163,44 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 220,94 | 0,00 | 202,40 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR 04**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,35 | 1,00 | 29,30 | 0,00 | 20,48 |
| Carichi permanenti portati | 1,50 | 1,00 | 38,82 | 0,00 | 18,48 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,35 | 1,00 | 12,15 | 0,00 | 1,53 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 80,27 | 0,00 | 40,49 |

**AZIONI TAGLIANTI DI CALCOLO - COMBINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO - ECCEZIONALE**

| CARICO | γ | ψ | SPICCATO SBALZO [kN/m] | MEZZERIA CAMPATE [kN/m] | APPOGGI INTERMEDI [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio della soletta | 1,00 | 1,00 | 21,70 | 0,00 | 15,17 |
| Carichi permanenti portati | 1,00 | 1,00 | 25,88 | 0,00 | 12,32 |
| Carichi accidentali da traffico | 1,00 | 1,00 | 113,20 | 0,00 | 121,07 |
| Carichi accidentali da folla compatta | 1,00 | 1,00 | 9,00 | 0,00 | 1,13 |
| Urto da autoveicolo in fase di svio | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTALE | | | 169,78 | 0,00 | 149,69 |

## 13.7 VERIFICHE STRUTTURALI

### 13.7.1 SEZIONE DI SPICCATO DELLO SBALZO

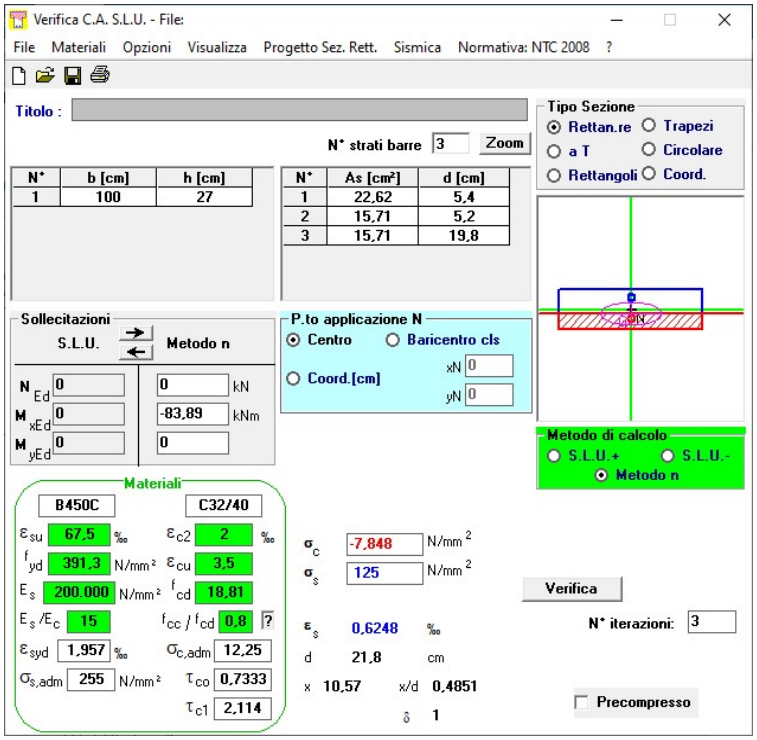
#### 13.7.1.1 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm e altezza pari a 27 cm.
L'armatura trasversale è costituita da:
Ø24/20 superiori + Ø20/20 superiori
Ø20/20 inferiori
L'armatura a taglio è costituita da cavallotti Ø12/20x20.
Il copriferro minimo netto è assunto pari a 30 mm.

#### 13.7.1.2 Verifica allo Stato Limite di limitazione delle tensioni

Combinazione SLE – Quasi Permanente

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -83,89 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

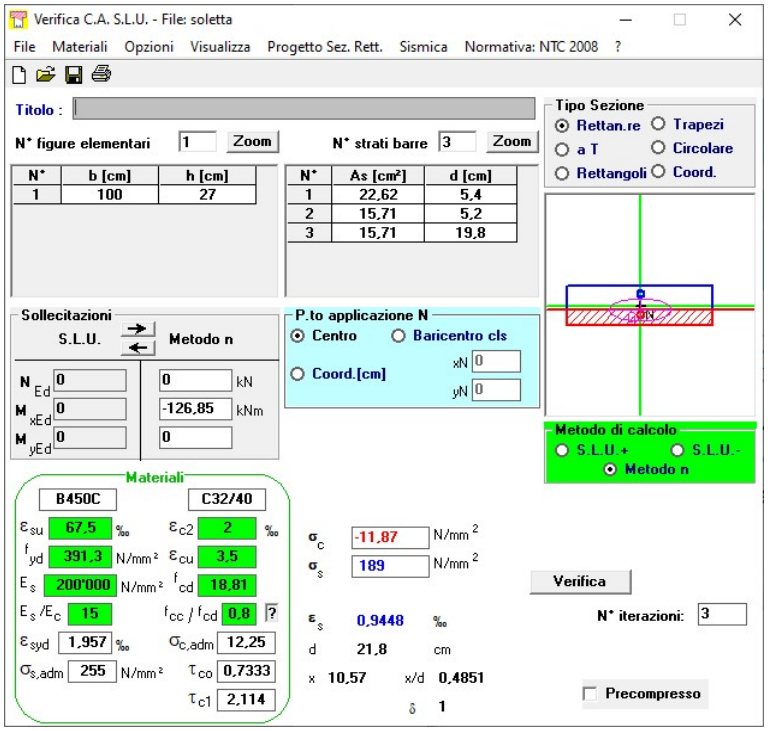
**$\sigma_c$ = 7,85 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 125,00 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

Combinazione SLE – Frequente

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -126,85 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

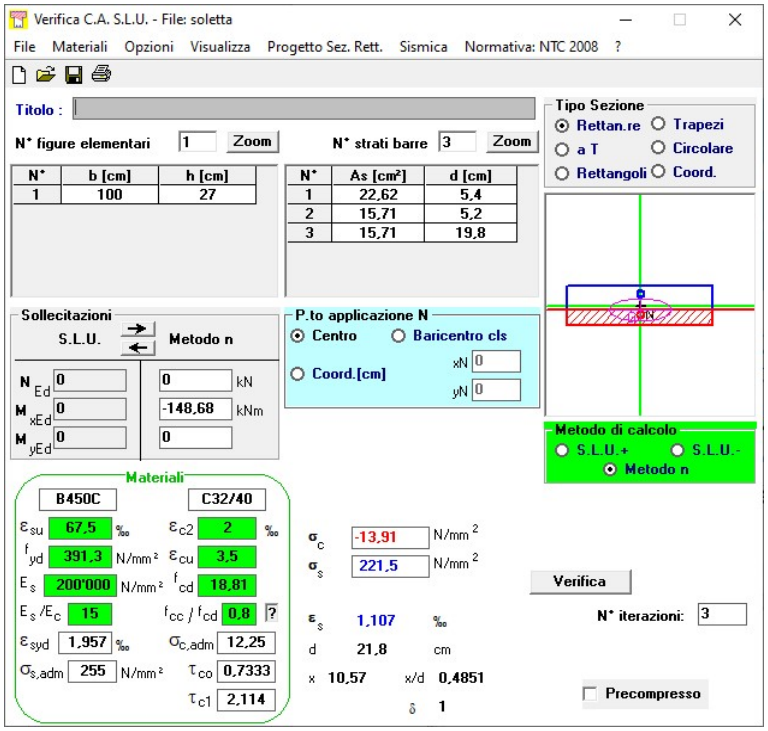
**$\sigma_c$ = 11,87 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 189,00 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

Combinazione SLE – Rara

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -148,68 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

**$\sigma_c$ = 13,91 N/mm² < 0,60 $f_{ck}$ = 19,92 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 221,5 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

## 13.7.1.3 Verifica allo Stato Limite di fessurazione – Combinazione Quasi Permanente

| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 270 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 240 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 216 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 30 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 24 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 2262 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 1571 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 125 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 105,7 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 3833 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 75000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 54767 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 135000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 54767 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,06998 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| **Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls** | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000357 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000474 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000474** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 100 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 22,18 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 205,4545 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| **Distanza massima tra le fessure** | $s_{r,max.1}$ | 156 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 214 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **156** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,20 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,07** | **[mm]** |

## 13.7.1.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione – Combinazione Frequente

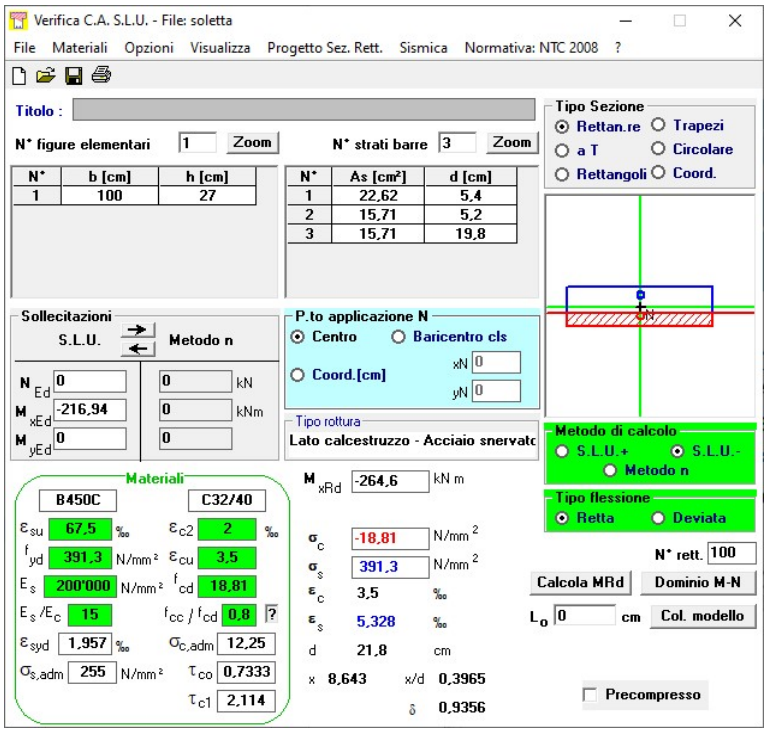
| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 270 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 240 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 216 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 30 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 24 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 2262 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 1571 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 189 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 105,7 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 3833 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 75000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 54767 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 135000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 54767 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,06998 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| **Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls** | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000540 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000779 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000779** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 100 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 22,18 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 205,4545 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| **Distanza massima tra le fessure** | $s_{r,max.1}$ | 156 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 214 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **156** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,30 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,12** | **[mm]** |

### 13.7.1.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione – Combinazione STR

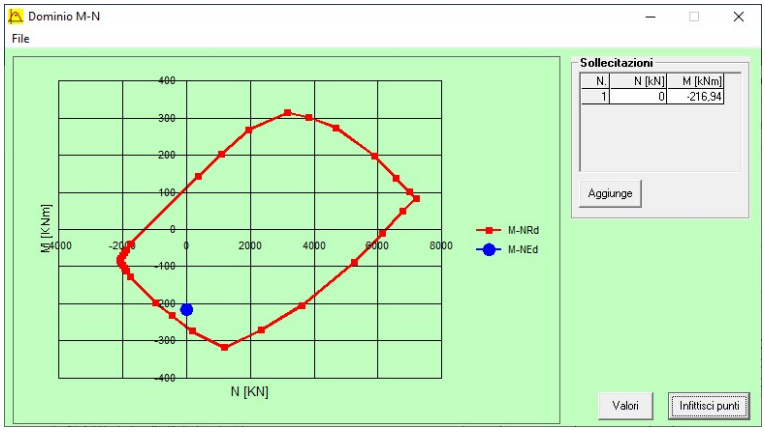
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -216,94 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = -264,60 kNm > $M_{Sd}$ = -216,94 kNm**

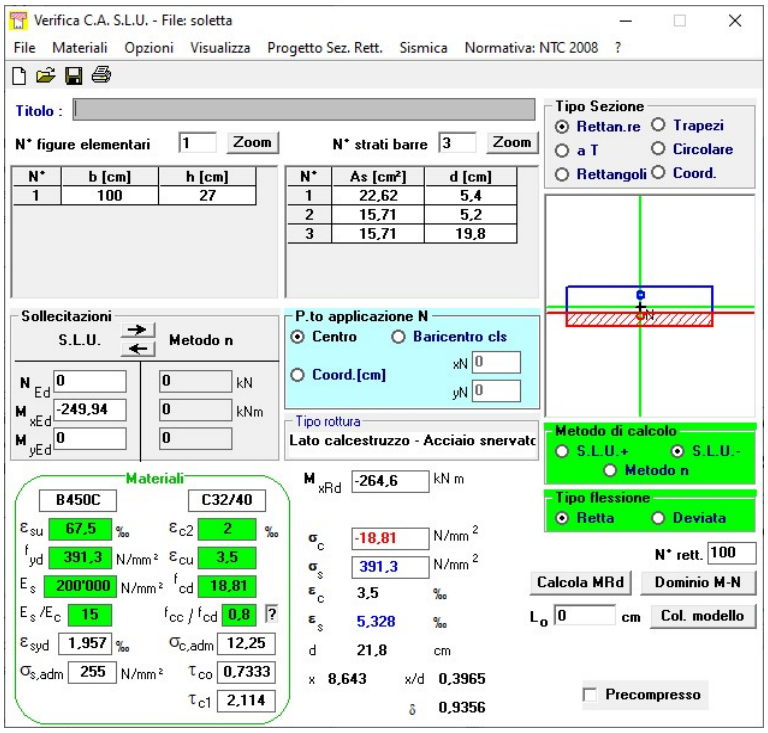
Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta soddisfatta.

### 13.7.1.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione - Combinazione eccezionale 01

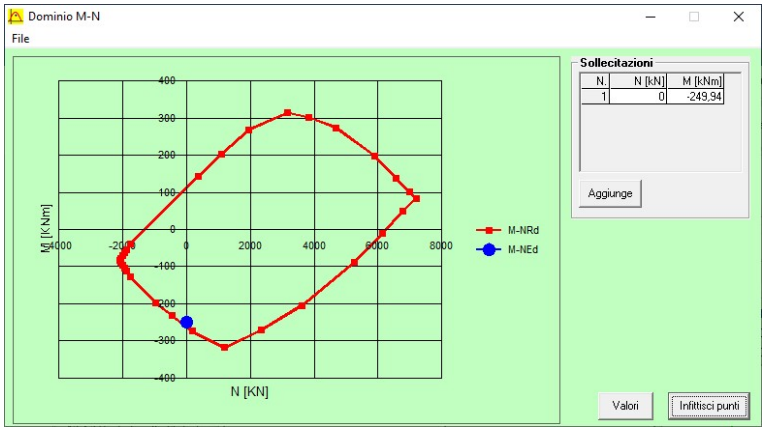
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -249,94 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = -264,60 kNm > $M_{Sd}$ = -249,94 kNm**

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:

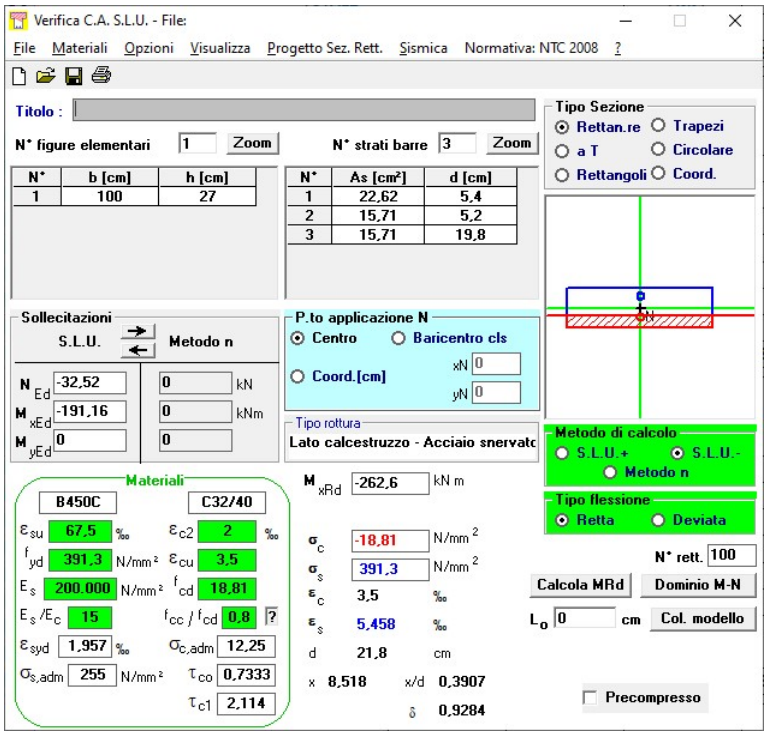



La verifica risulta soddisfatta.

### 13.7.1.7 Verifica allo Stato Limite Ultimo per tensoflessione - Combinazione eccezionale 02

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -191,16 kNm**.

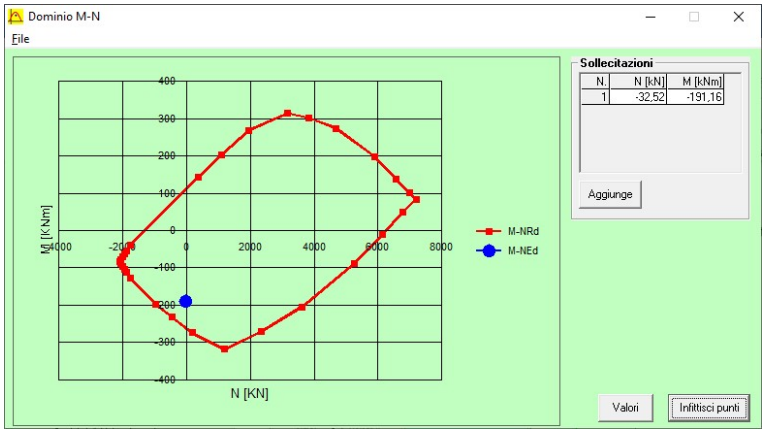
L'azione normale di trazione, valutata secondo quanto previsto dal Quaderno Tecnico ANAS n. 5, è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 32,52 kN.**




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = -295,00 kNm > $M_{Sd}$ = -191,16 kNm**

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta soddisfatta.

## 13.7.1.8 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio – Combinazione STR

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a **$V_{Sd}$ = 225,80 kN.**

| VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 17.01.2018 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2 | | | |
|---|---|---|---|
| **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE** | | | |
| Base della zezione trasversale: | b | 100,00 | [cm] |
| Altezza della sezione trasversale: | h | 27,00 | [cm] |
| Copriferro netto: | c | 3,00 | [cm] |
| Altezza utile della sezione: | d | 24,00 | [cm] |
| **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI** | | | |
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione: | $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| **AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO** | | | |
| Azione tagliante di calcolo: | $V_{S,d}$ | 225,80 | [kN] |
| Azione normale di calcolo: | $N_{S,d}$ | 0,00 | [kN] |
| **ARMATURA TRASVERSALE** | | | |
| Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo: | θ | 45,00 | [°] |
| Cotangente dell'angolo θ: | cot(θ) | 1,00 | |
| Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: | α | 90,00 | [°] |
| Numero di bracci dell'armatura trasversale: | n | 5,00 | |
| Passo longitudinale delle armature trasversali: | s | 20,00 | [cm] |
| Diametro dell'armatura trasversale: | $Ø_{trasv}$ | 12,00 | [mm] |
| Area della singola barra: | $A_{barra}$ | 1,13 | [cm$^2$] |
| Area totale dell'armatura trasversale: | $A_{tot}$ | 28,25 | [cm$^2$/m] |
| **VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO** | | | |

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot sen(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{[\cot(\alpha) + \cot(\theta)]}{[1 + \cot^2(\theta)]}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Larghezza minima della sezione: | $b_w$ | 100,00 | [cm] |
| Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo: | $f'_{yd}$ | 9,41 | [N/mm$^2$] |
| Tensione media di compressione nella sezione: | $\sigma_{cp}$ | 0,00 | [N/mm$^2$] |
| Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$: | $\alpha_c$ | 1,00 | |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" | $V_{Rsd}$ | 238,77 | [kN] |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE" | $V_{Rcd}$ | 1015,92 | [kN] |
| **AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:** | $V_{R,d}$ | 238,77 | **[kN]** |
| **COEFFICIENTE DI SICUREZZA:** | $F_S = V_{R,d}/V_{S,d}$ | 1,06 | |

**LA VERIFICA RISULTA POSITIVA.**

## 13.7.1.9 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio – Combinazione Eccezionale

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a **$V_{Sd}$ = 169,78 kN.**

| VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 17.01.2018 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2 | | | |
|---|---|---|---|
| **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE** | | | |
| Base della zezione trasversale: | b | 100,00 | [cm] |
| Altezza della sezione trasversale: | h | 27,00 | [cm] |
| Copriferro netto: | c | 3,00 | [cm] |
| Altezza utile della sezione: | d | 24,00 | [cm] |
| **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI** | | | |
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione: | $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| **AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO** | | | |
| Azione tagliante di calcolo: | $V_{S,d}$ | 169,78 | [kN] |
| Azione normale di calcolo: | $N_{S,d}$ | 0,00 | [kN] |
| **ARMATURA TRASVERSALE** | | | |
| Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo: | θ | 45,00 | [°] |
| Cotangente dell'angolo θ: | cot(θ) | 1,00 | |
| Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: | α | 90,00 | [°] |
| Numero di bracci dell'armatura trasversale: | n | 5,00 | |
| Passo longitudinale delle armature trasversali: | s | 20,00 | [cm] |
| Diametro dell'armatura trasversale: | $Ø_{trasv}$ | 12,00 | [mm] |
| Area della singola barra: | $A_{barra}$ | 1,13 | [cm$^2$] |
| Area totale dell'armatura trasversale: | $A_{tot}$ | 28,25 | [cm$^2$/m] |
| **VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO** | | | |

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot sen(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{[\cot(\alpha) + \cot(\theta)]}{[1 + \cot^2(\theta)]}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Larghezza minima della sezione: | $b_w$ | 100,00 | [cm] |
| Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo: | $f'_{yd}$ | 9,41 | [N/mm$^2$] |
| Tensione media di compressione nella sezione: | $\sigma_{cp}$ | 0,00 | [N/mm$^2$] |
| Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$: | $\alpha_c$ | 1,00 | |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" | $V_{Rsd}$ | 238,77 | [kN] |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE" | $V_{Rcd}$ | 1015,92 | [kN] |
| **AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:** | $V_{R,d}$ | 238,77 | **[kN]** |
| **COEFFICIENTE DI SICUREZZA:** | $F_S=V_{R,d}/V_{S,d}$ | 1,41 | |

LA VERIFICA RISULTA POSITIVA.

## 13.7.2 SEZIONE IN MEZZERIA DELLE CAMPATE – VERIFICHE STRUTTURALI

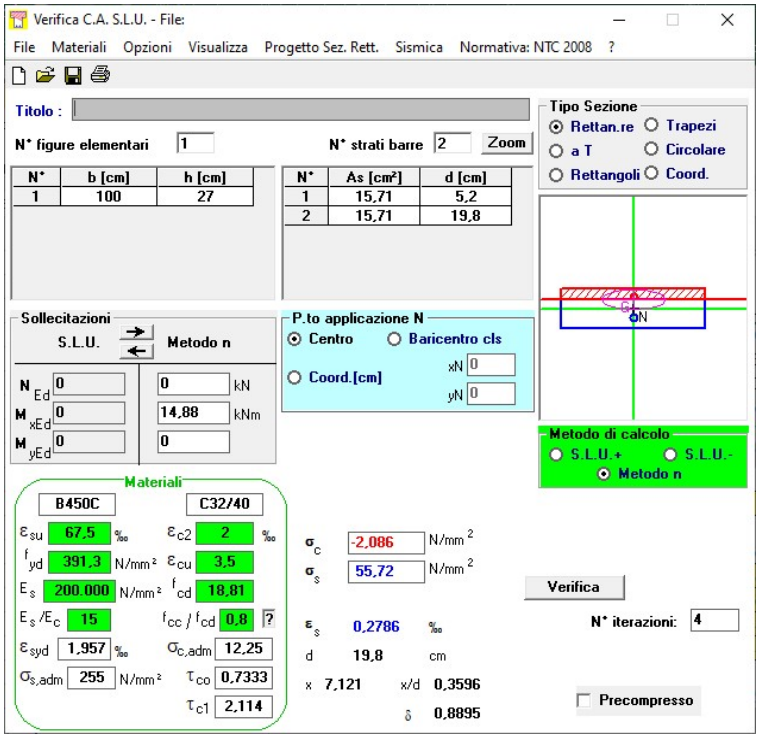
### 13.7.2.1 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm e altezza pari a 27 cm.
L'armatura trasversale è costituita da:
Ø20/20 superiori
Ø20/20 inferiori
L'armatura a taglio è costituita da spille Ø12/20x20.
Il copriferro minimo netto è assunto pari a 30 mm.

### 13.7.2.2 Verifica allo Stato Limite di limitazione delle tensioni

Combinazione SLE – Quasi Permanente

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = 14,88 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

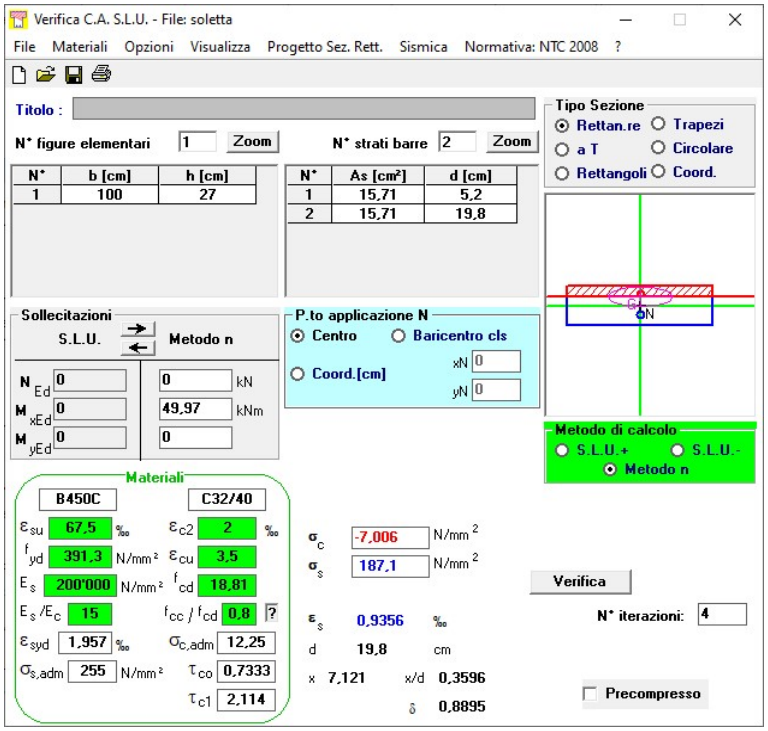
**$\sigma_c$ = 2,09 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 55,72 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

Combinazione SLE – Frequente

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $\mathbf{M_{Sd} = 49,97\ kNm}$.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

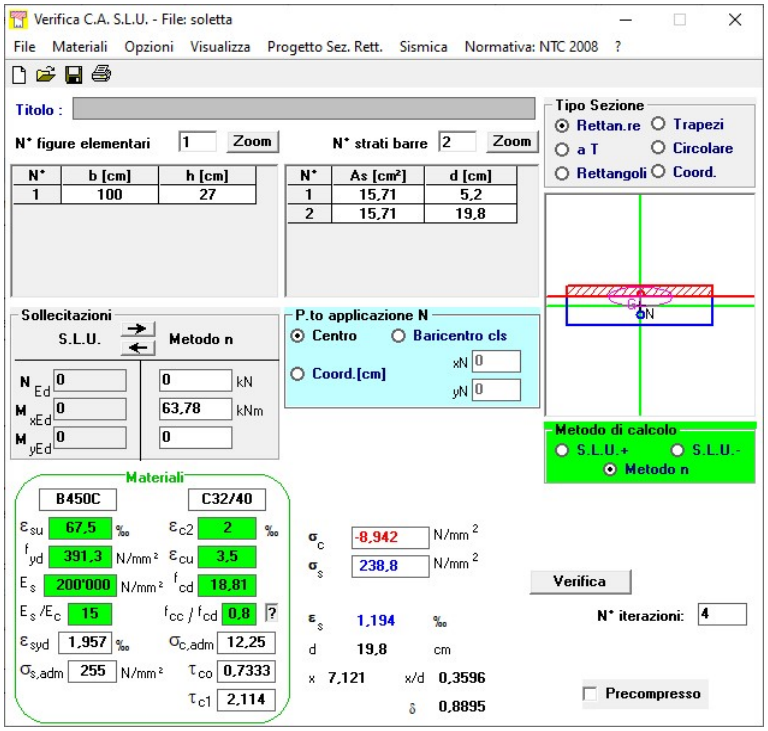
$\mathbf{\sigma_c = 7,00\ N/mm^2 < 0,45\ f_{ck} = 14,94\ N/mm^2}$

$\mathbf{\sigma_s = 187,1\ N/mm^2 < 0,80\ f_{yk} = 360,00\ N/mm^2}$

La verifica risulta soddisfatta.

Combinazione SLE – Rara

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = 63,78 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

**$\sigma_c$ = 8,94 N/mm² < 0,60 $f_{ck}$ = 19,92 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 238,80 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

## 13.7.2.3 Verifica allo Stato Limite di fessurazione – Combinazione Quasi Permanente

| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 270 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 240 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 198 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 30 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 1571 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 0 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 0 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 0 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 55,72 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 71,21 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 1571 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 75000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 66263 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 135000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 66263 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,02371 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000159 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | -0,000021 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000159** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 200 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 20,00 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 200 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| Distanza massima tra le fessure | $s_{r,max.1}$ | 245 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 258 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **245** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,20 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,04** | **[mm]** |

## 13.7.2.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione – Combinazione Frequente

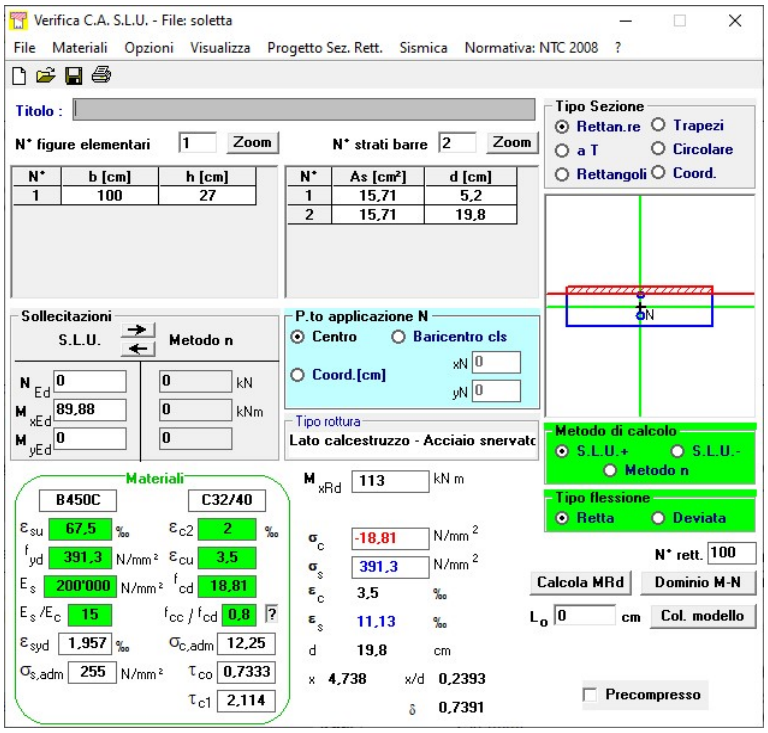
| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 270 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 240 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 198 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 30 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 1571 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 0 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 0 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 0 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 187,1 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 71,21 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 1571 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 75000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 66263 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 135000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 66263 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,02371 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| **Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls** | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000535 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000605 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000605** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 200 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 20,00 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 200 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| **Distanza massima tra le fessure** | $s_{r,max.1}$ | 245 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 258 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **245** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,30 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,15** | **[mm]** |

### 13.7.2.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione – Combinazione STR

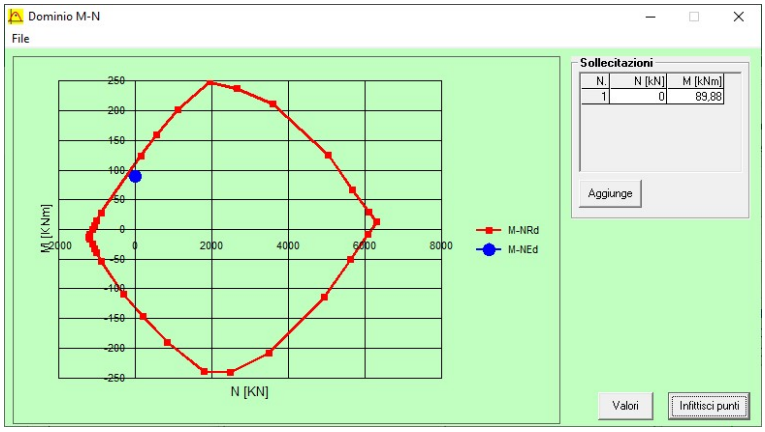
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = 89,88 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = 113,00 kNm > $M_{Sd}$ = 89,88 kNm**

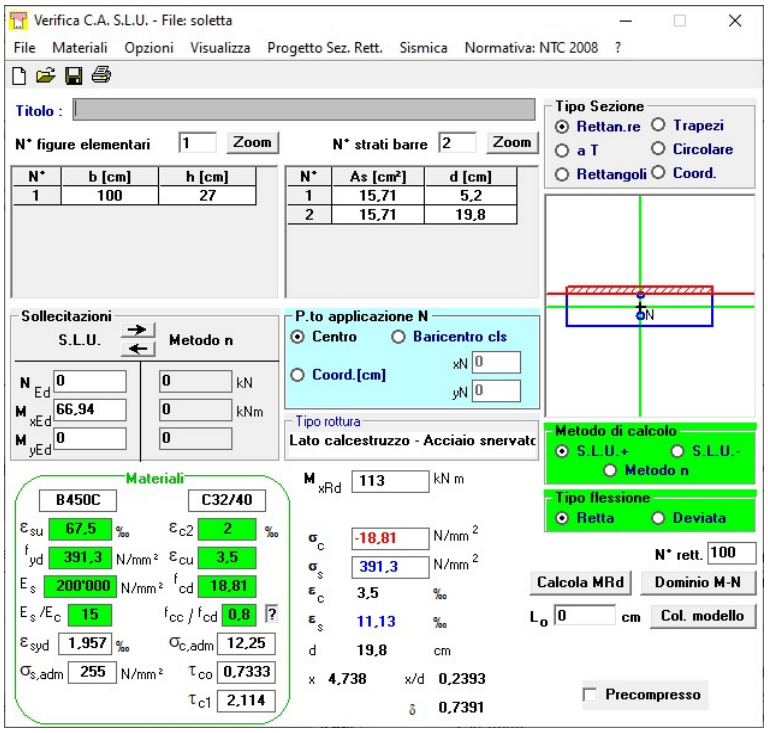
Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta soddisfatta.

### 13.7.2.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione – Combinazione eccezionale

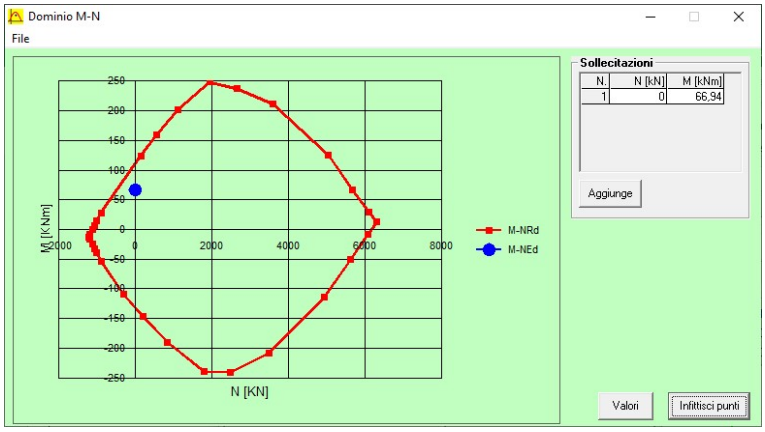
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = 66,94 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = 113,00 kNm > $M_{Sd}$ = 66,94 kNm**

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta soddisfatta.

### 13.7.3 SEZIONE ALL'APPOGGIO CENTRALE – VERIFICHE STRUTTURALI

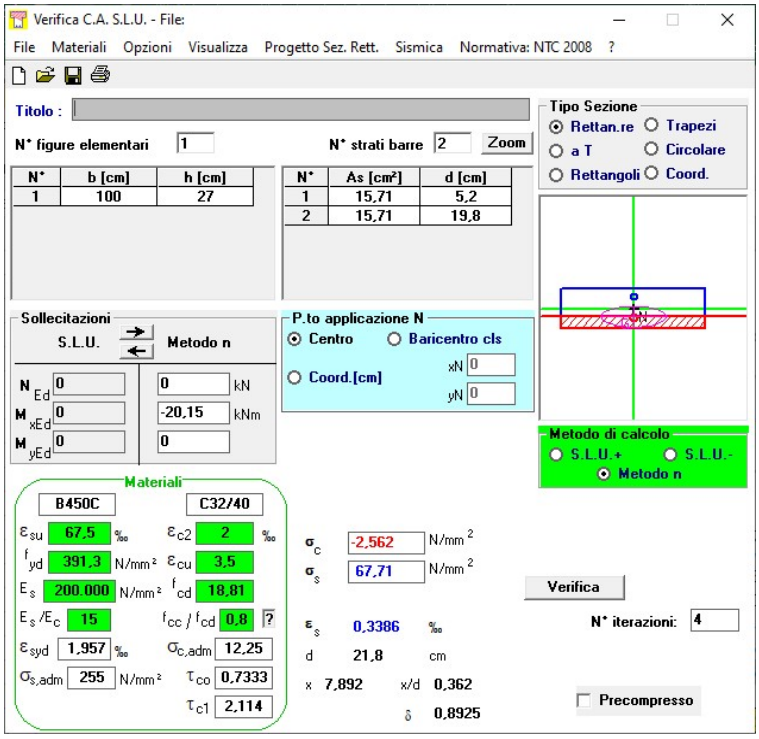
#### 13.7.3.1 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm e altezza pari a 27 cm.
L'armatura trasversale è costituita da:
Ø20/20 superiori
Ø20/20 inferiori
L'armatura a taglio è costituita da spille Ø12/20x20.
Il copriferro minimo netto è assunto pari a 30 mm.

#### 13.7.3.2 Verifica allo Stato Limite di limitazione delle tensioni

Combinazione SLE – Quasi Permanente

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -20,15 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

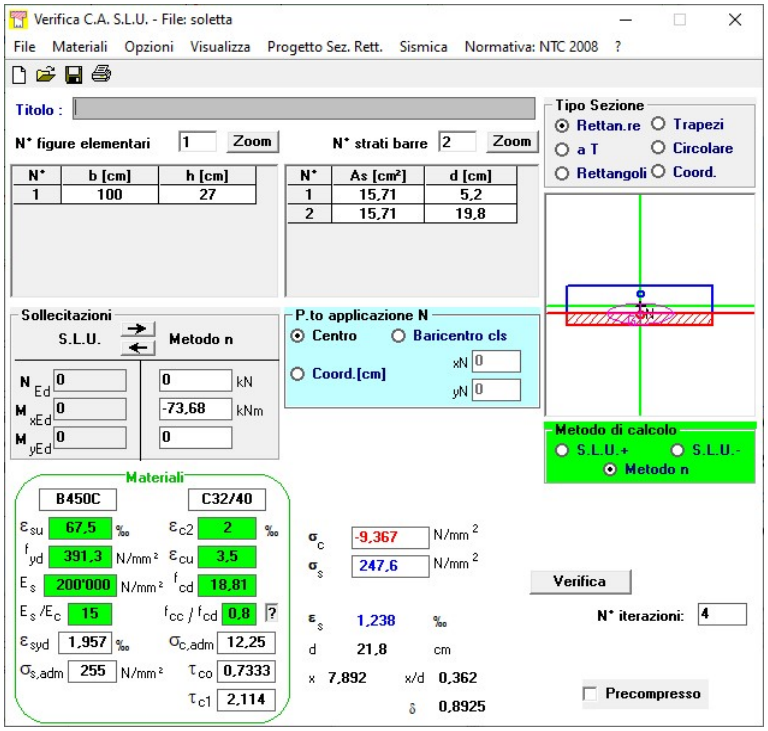
**$\sigma_c$ = 2,56 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 67,71 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

Combinazione SLE – Frequente

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -73,68 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

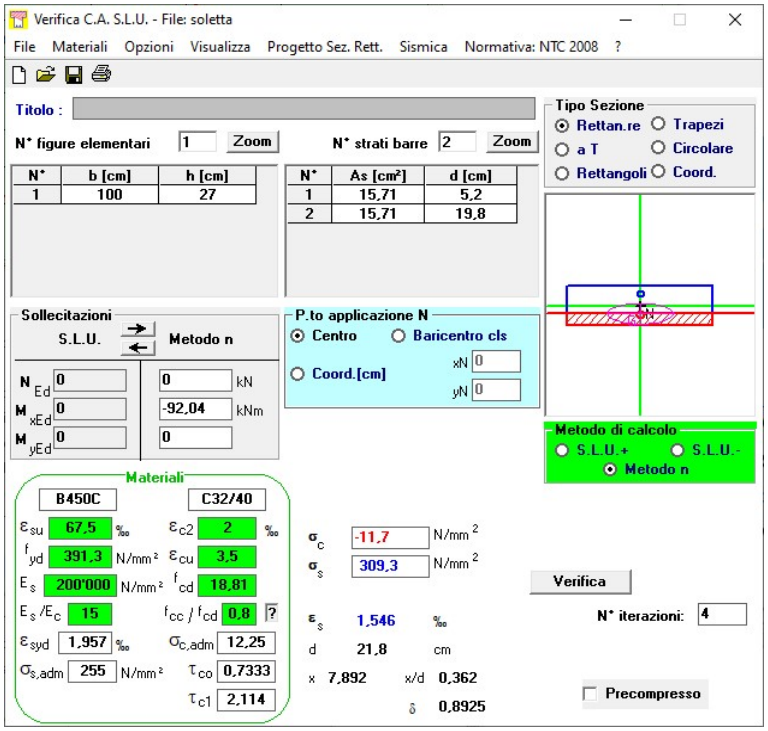
**$\sigma_c$ = 9,37 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 247,60 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

Combinazione SLE – Rara

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -92,04 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

**$\sigma_c$ = 11,70 N/mm² < 0,60 $f_{ck}$ = 19,92 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 309,30 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta soddisfatta.

## 13.7.3.3 Verifica allo Stato Limite di fessurazione – Combinazione Quasi Permanente

| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 270 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 240 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 218 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 30 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 1571 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 0 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 0 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 0 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 67,71 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 78,92 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 1571 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 75000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 63693 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 135000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 63693 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,02466 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000193 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000046 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000193** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 200 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 20,00 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 200 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| Distanza massima tra le fessure | $s_{r,max.1}$ | 240 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 248 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **240** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,20 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,05** | **[mm]** |

## 13.7.3.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione – Combinazione Frequente

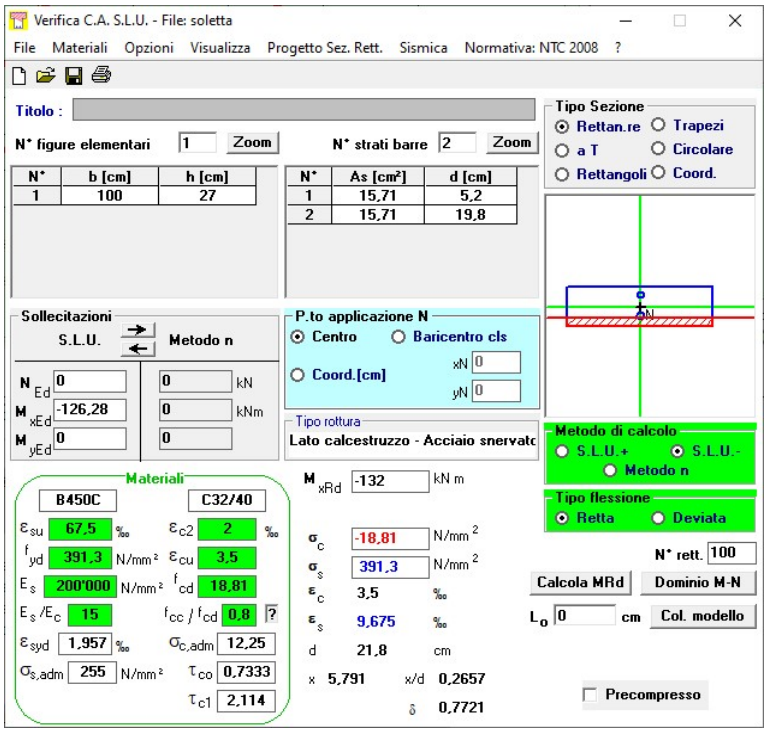
| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 270 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 240 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 218 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 30 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 5 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 1571 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 0 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 0 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 0 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 247,6 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 78,92 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 1571 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 75000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 63693 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 135000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 63693 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,02466 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| **Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls** | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000707 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000903 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000903** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 200 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 20,00 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 200 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| **Distanza massima tra le fessure** | $s_{r,max.1}$ | 240 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 248 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **240** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,30 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,22** | **[mm]** |

### 13.7.3.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione – Combinazione STR

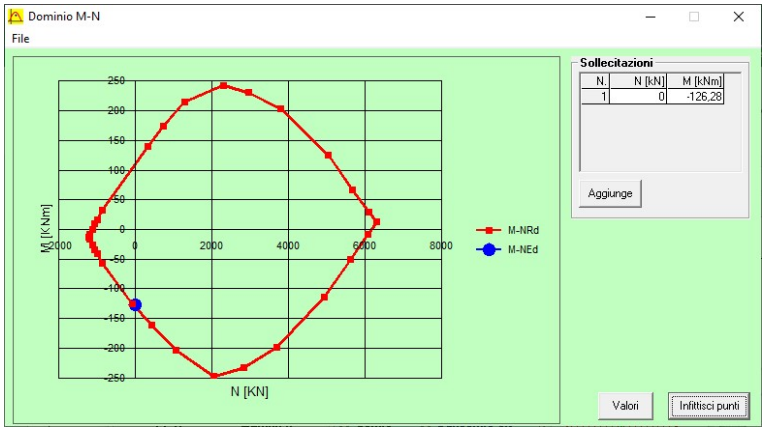
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -126,28 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = -132,00 kNm > $M_{Sd}$ = -126,28 kNm**

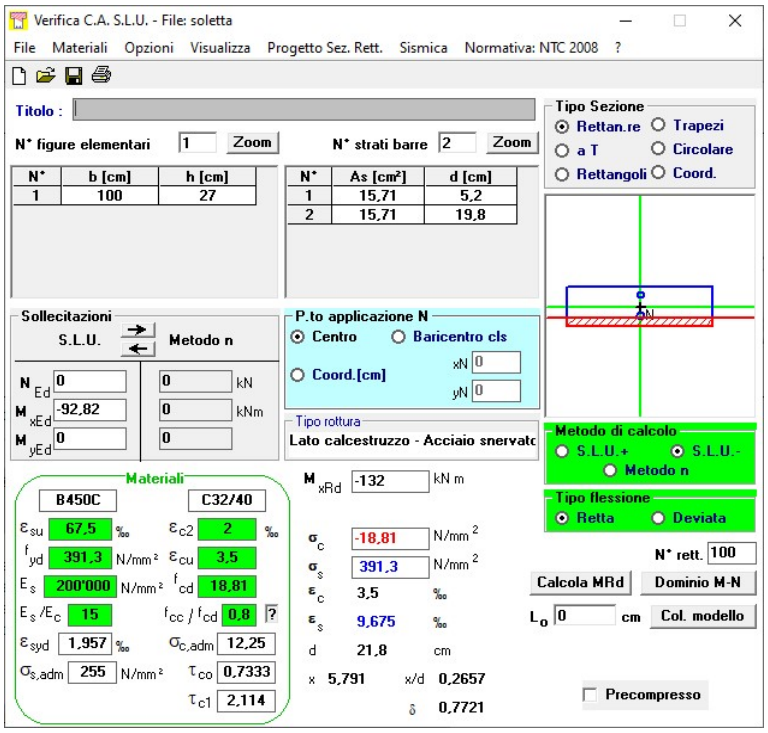
Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta soddisfatta.

### 13.7.3.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione – Combinazione eccezionale

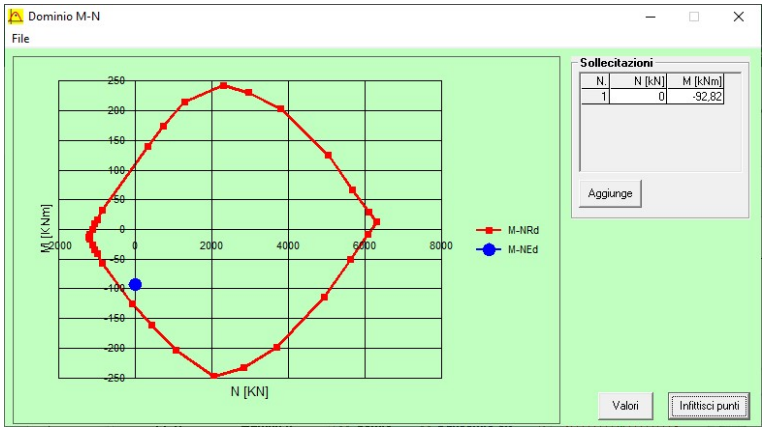
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -92,82 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Rd}$ = -132,00 kNm > $M_{Sd}$ = -92,82 kNm**

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta soddisfatta.

## 13.7.3.7 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio – Combinazione STR

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a **$V_{Sd}$ = 203,01 kN.**

| VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 17.01.2018 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2 | | | |
|---|---|---|---|
| **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE** | | | |
| Base della zezione trasversale: | b | 100,00 | [cm] |
| Altezza della sezione trasversale: | h | 27,00 | [cm] |
| Copriferro netto: | c | 3,00 | [cm] |
| Altezza utile della sezione: | d | 24,00 | [cm] |
| **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI** | | | |
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione: | $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| **AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO** | | | |
| Azione tagliante di calcolo: | $V_{S,d}$ | 203,01 | [kN] |
| Azione normale di calcolo: | $N_{S,d}$ | 0,00 | [kN] |
| **ARMATURA TRASVERSALE** | | | |
| Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo: | θ | 45,00 | [°] |
| Cotangente dell'angolo θ: | cot(θ) | 1,00 | |
| Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: | α | 90,00 | [°] |
| Numero di bracci dell'armatura trasversale: | n | 5,00 | |
| Passo longitudinale delle armature trasversali: | s | 20,00 | [cm] |
| Diametro dell'armatura trasversale: | $Ø_{trasv}$ | 12,00 | [mm] |
| Area della singola barra: | $A_{barra}$ | 1,13 | [cm$^2$] |
| Area totale dell'armatura trasversale: | $A_{tot}$ | 28,25 | [cm$^2$/m] |
| **VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO** | | | |

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot sen(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{[\cot(\alpha) + \cot(\theta)]}{[1 + \cot^2(\theta)]}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Larghezza minima della sezione: | $b_w$ | 100,00 | [cm] |
| Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo: | $f'_{yd}$ | 9,41 | [N/mm$^2$] |
| Tensione media di compressione nella sezione: | $\sigma_{cp}$ | 0,00 | [N/mm$^2$] |
| Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$: | $\alpha_c$ | 1,00 | |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" | $V_{Rsd}$ | 238,77 | [kN] |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE" | $V_{Rcd}$ | 1015,92 | [kN] |
| **AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:** | $V_{R,d}$ | 238,77 | **[kN]** |
| **COEFFICIENTE DI SICUREZZA:** | $F_S = V_{R,d}/V_{S,d}$ | 1,18 | |

**LA VERIFICA RISULTA POSITIVA.**

## 13.7.3.8 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio – Combinazione Eccezionale

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a **$V_{Sd}$ = 149,69 kN.**

| VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 17.01.2018 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2 | | | |
|---|---|---|---|
| **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE** | | | |
| Base della zezione trasversale: | b | 100,00 | [cm] |
| Altezza della sezione trasversale: | h | 27,00 | [cm] |
| Copriferro netto: | c | 3,00 | [cm] |
| Altezza utile della sezione: | d | 24,00 | [cm] |
| **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI** | | | |
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione: | $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |
| **AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO** | | | |
| Azione tagliante di calcolo: | $V_{S,d}$ | 149,69 | [kN] |
| Azione normale di calcolo: | $N_{S,d}$ | 0,00 | [kN] |
| **ARMATURA TRASVERSALE** | | | |
| Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo: | θ | 45,00 | [°] |
| Cotangente dell'angolo θ: | cot(θ) | 1,00 | |
| Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: | α | 90,00 | [°] |
| Numero di bracci dell'armatura trasversale: | n | 5,00 | |
| Passo longitudinale delle armature trasversali: | s | 20,00 | [cm] |
| Diametro dell'armatura trasversale: | $Ø_{trasv}$ | 12,00 | [mm] |
| Area della singola barra: | $A_{barra}$ | 1,13 | [cm$^2$] |
| Area totale dell'armatura trasversale: | $A_{tot}$ | 28,25 | [cm$^2$/m] |
| **VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO** | | | |

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot sen(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{[\cot(\alpha) + \cot(\theta)]}{[1 + \cot^2(\theta)]}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Larghezza minima della sezione: | $b_w$ | 100,00 | [cm] |
| Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo: | $f'_{yd}$ | 9,41 | [N/mm$^2$] |
| Tensione media di compressione nella sezione: | $\sigma_{cp}$ | 0,00 | [N/mm$^2$] |
| Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$: | $\alpha_c$ | 1,00 | |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" | $V_{Rsd}$ | 238,77 | [kN] |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE" | $V_{Rcd}$ | 1015,92 | [kN] |
| **AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:** | $V_{R,d}$ | 238,77 | **[kN]** |
| **COEFFICIENTE DI SICUREZZA:** | $F_S = V_{R,d}/V_{S,d}$ | 1,60 | |

**LA VERIFICA RISULTA POSITIVA.**

## 13.8 VERIFICHE A PUNZONAMENTO

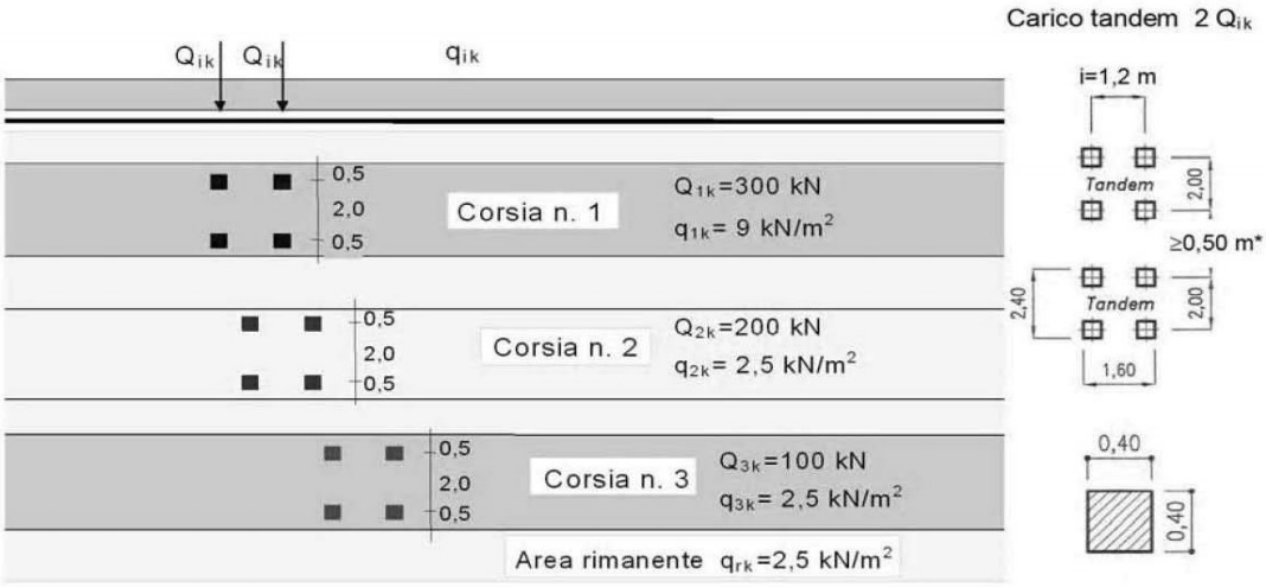
Le verifiche a punzonamento sono state condotte secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 - §4.1.2.3.5.4, per solette piene prive di specifica armatura a punzonamento.

### 13.8.1 CONDIZIONI DI CARICO

Per le verifiche a punzonamento sono stati considerati quattro differenti schemi di carico, corrispondenti agli schemi di carico 1, 2, 3 e 4 previsti dal D.M. 17.01.2018 - §5.1.3.3.5:

SCHEMA 1

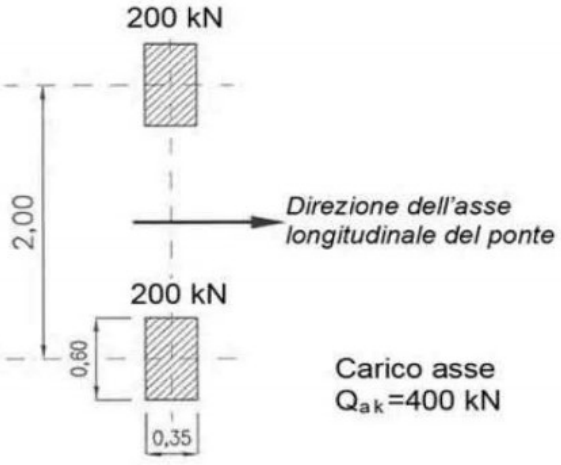
Lo schema 1 fa riferimento al carico tandem (D.M. 17.01.2018 - §5.1.3.3.5 – Schema di carico 1) con singola impronta di dimensioni **40 x 40 cm**, con carico concentrato pari a **150,00 kN**.




Schema di carico 1 *(dimensioni in [m])*

SCHEMA 2

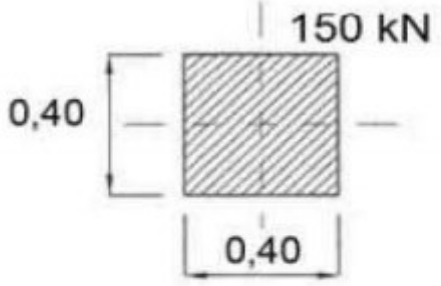
Lo schema 2 prevede (D.M. 17.01.2018 - §5.1.3.3.5 – Schema di carico 2) una singola impronta di dimensioni **35 x 60 cm**, con carico concentrato pari a **200,00 kN**.




Schema di carico 2
*(dimensioni in [m])*

SCHEMA 3

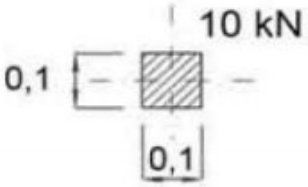
Lo schema 3 prevede (D.M. 17.01.2018 - §5.1.3.3.5 – Schema di carico 3) una singola impronta di dimensioni **40 x 40 cm**, con carico concentrato pari a **150,00 kN**.




Schema di carico 3
*(dimensioni in [m])*

SCHEMA 4

Lo schema 4 prevede (D.M. 17.01.2018 - §5.1.3.3.5 – Schema di carico 4) una singola impronta di dimensioni **10 x 10 cm**, con carico concentrato pari a **10,00 kN**.




Schema di carico 4
*(dimensioni in [m])*

La diffusione dei carichi di punzonamento fino alla linea media della soletta è definita secondo angoli di 45°, così come previsto dal D.M. 17.01.2018 - §5.1.3.3.6:

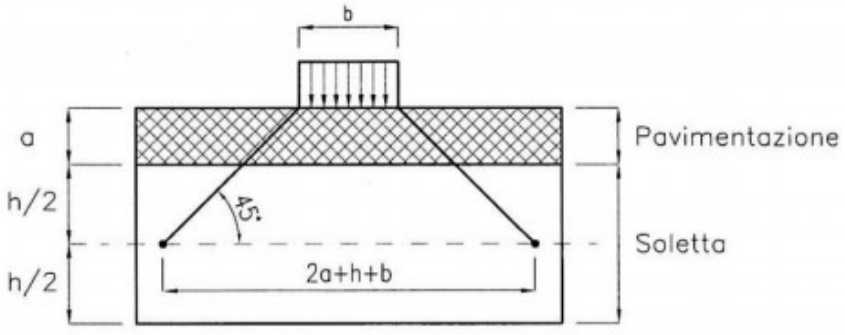



**Fig. 5.1.3.a** - *Diffusione dei carichi concentrati nelle solette*

A favore di sicurezza le verifiche verranno condotte considerando:

- Diametri minimi delle armature longitudinali e trasversali presenti lungo la soletta superiore.
- Posizione dell'area di impronta in corrispondenza del bordo libero della soletta (transizione con il giunto di dilatazione.

## 13.8.2 VERIFICA A PUNZONAMENTO – SCHEMA DI CARICO 1

### A. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore della soletta (comprese predalles) | $s_{soletta}$ | **27,00** | [cm] |
| Spessore medio della pavimentazione stradale | $s_{pav}$ | **14,00** | [cm] |

### B. AREA DI IMPRONTA

#### B.1. DIMENSIONI DELL'AREA DI IMPRONTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impalcato | a | **40,00** | [cm] |
| Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare all'asse longitudinale dell'impa | b | **40,00** | [cm] |

#### B.2. DIFFUSIONE DELL'AREA DI IMRPONTA FINO ALLA LINEA MEDIA DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore di diffusione fino alla linea media della soletta | $h_p$ | 27,50 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impa | $b_x$ | 95,00 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione perpendicolare all'asse longitudinale de | $b_y$ | 95,00 | [cm] |
| Perimetro critico di punzonamento: | u | 380,00 | [cm] |

### C. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione al frattile del 5%: | $f_{ctk0,05}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza unitaria a taglio di calcolo di riferimento: | $T_{Rd}$ | 0,36 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |

### D. AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azione di punzonamento di calcolo | $V_{S,d}$ | **150,00** | [kN] |
| Posizionamento dell'area di impronta | | Impronta lungo il bordo | |
| Coefficiente di eccentricità del carico | β | 1,40 | [-] |
| Azione di punzonamento per unità di lunghezza | $v_{S,d}$ | 55,26 | [N/mm] |

### E. DEFINIZIONE DELLE ARMATURE

#### E.1. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PARALLELA ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **14** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 1,54 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 5,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 7,70 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **4,70** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 22,30 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $ρ_{1x}$ | 0,00363 | |

## E.2. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PERPENDICOLARE ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **20,00** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 3,14 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 5,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 15,70 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **6,40** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 20,60 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $\rho_{1x}$ | 0,00802 | |

## G. VERIFICA A PUNZONAMENTO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza utile della sezione: | $d = (d_x - d_y)/2$ | 21,45 | [cm] |
| Coefficiente k: | $k=1,6-d \geq 1,0$ | 1,39 | [-] |
| Percentuale geometrica di armatura tesa: | $\rho_1 = \sqrt{(\rho_{1x}\ \rho_{1y})} \leq 0,015$ | 0,0054 | [-] |
| Resistenza a taglio per unità di lunghezza: | $V_{Rd1}$ | **152,14** | [N/mm] |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{Rd}$ | **152,14** | [N/mm] | > | $V_{Sd}$ | **55,26** | [N/mm] | **VERIFICA POSITIVA** |

## 13.8.3 VERIFICA A PUNZONAMENTO – SCHEMA DI CARICO 2

### A. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore della soletta (comprese predalles) | $s_{soletta}$ | **27,00** | [cm] |
| Spessore medio della pavimentazione stradale | $s_{pav}$ | **14,00** | [cm] |

### B. AREA DI IMPRONTA

#### B.1. DIMENSIONI DELL'AREA DI IMPRONTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impalcato | a | **35,00** | [cm] |
| Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare all'asse longitudinale dell'impa | b | **60,00** | [cm] |

#### B.2. DIFFUSIONE DELL'AREA DI IMRPONTA FINO ALLA LINEA MEDIA DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore di diffusione fino alla linea media della soletta | $h_p$ | 27,50 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impa | $b_x$ | 90,00 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione perpendicolare all'asse longitudinale de | $b_y$ | 115,00 | [cm] |
| Perimetro critico di punzonamento: | u | 410,00 | [cm] |

### C. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione al frattile del 5%: | $f_{ctk0,05}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza unitaria a taglio di calcolo di riferimento: | $T_{Rd}$ | 0,36 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |

### D. AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azione di punzonamento di calcolo | $V_{S,d}$ | **200,00** | [kN] |
| Posizionamento dell'area di impronta | | Impronta lungo il bordo | |
| Coefficiente di eccentricità del carico | β | 1,40 | [-] |
| Azione di punzonamento per unità di lunghezza | $v_{S,d}$ | 68,29 | [N/mm] |

### E. DEFINIZIONE DELLE ARMATURE

#### E.1. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PARALLELA ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **14** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 1,54 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 5,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 7,70 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **4,70** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 22,30 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $ρ_{1x}$ | 0,00384 | |

## E.2. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PERPENDICOLARE ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **20,00** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 3,14 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 6,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 18,84 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **6,40** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 20,60 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $\rho_{1x}$ | 0,00795 | |

## G. VERIFICA A PUNZONAMENTO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza utile della sezione: | $d = (d_x - d_y)/2$ | 21,45 | [cm] |
| Coefficiente k: | $k=1,6-d \geq 1,0$ | 1,39 | [-] |
| Percentuale geometrica di armatura tesa: | $\rho_1 = \sqrt{(\rho_{1x}\ \rho_{1y})} \leq 0,015$ | 0,0055 | [-] |
| Resistenza a taglio per unità di lunghezza: | $V_{Rd1}$ | **152,68** | [N/mm] |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{Rd}$ | **152,68** | [N/mm] | > | $V_{Sd}$ | **68,29** | [N/mm] | VERIFICA POSITIVA |

## 13.8.4 VERIFICA A PUNZONAMENTO – SCHEMA DI CARICO 3

### A. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore della soletta (comprese predalles) | $s_{soletta}$ | **27,00** | [cm] |
| Spessore medio della pavimentazione stradale | $s_{pav}$ | **14,00** | [cm] |

### B. AREA DI IMPRONTA

#### B.1. DIMENSIONI DELL'AREA DI IMPRONTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impalcato | a | **40,00** | [cm] |
| Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare all'asse longitudinale dell'impa | b | **40,00** | [cm] |

#### B.2. DIFFUSIONE DELL'AREA DI IMRPONTA FINO ALLA LINEA MEDIA DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore di diffusione fino alla linea media della soletta | $h_p$ | 27,50 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impa | $b_x$ | 95,00 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione perpendicolare all'asse longitudinale de | $b_y$ | 95,00 | [cm] |
| Perimetro critico di punzonamento: | u | 380,00 | [cm] |

### C. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione al frattile del 5%: | $f_{ctk0,05}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza unitaria a taglio di calcolo di riferimento: | $T_{Rd}$ | 0,36 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |

### D. AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azione di punzonamento di calcolo | $V_{S,d}$ | **150,00** | [kN] |
| Posizionamento dell'area di impronta | | Impronta lungo il bordo | |
| Coefficiente di eccentricità del carico | β | 1,40 | [-] |
| Azione di punzonamento per unità di lunghezza | $v_{S,d}$ | 55,26 | [N/mm] |

### E. DEFINIZIONE DELLE ARMATURE

#### E.1. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PARALLELA ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **14** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 1,54 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 5,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 7,70 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **4,70** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 22,30 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $ρ_{1x}$ | 0,00363 | |

## E.2. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PERPENDICOLARE ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **20,00** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 3,14 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 5,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 15,70 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **6,40** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 20,60 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $\rho_{1x}$ | 0,00802 | |

## G. VERIFICA A PUNZONAMENTO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza utile della sezione: | $d = (d_x - d_y)/2$ | 21,45 | [cm] |
| Coefficiente k: | $k=1,6-d \geq 1,0$ | 1,39 | [-] |
| Percentuale geometrica di armatura tesa: | $\rho_1 = \sqrt{(\rho_{1x}\ \rho_{1y})} \leq 0,015$ | 0,0054 | [-] |
| Resistenza a taglio per unità di lunghezza: | $V_{Rd1}$ | **152,14** | [N/mm] |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{Rd}$ | **152,14** | [N/mm] | > | $V_{Sd}$ | **55,26** | [N/mm] | VERIFICA POSITIVA |

## 13.8.5 VERIFICA A PUNZONAMENTO – SCHEMA DI CARICO 4

### A. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore della soletta (comprese predalles) | $s_{soletta}$ | **27,00** | [cm] |
| Spessore medio della pavimentazione stradale | $s_{pav}$ | **14,00** | [cm] |

### B. AREA DI IMPRONTA

#### B.1. DIMENSIONI DELL'AREA DI IMPRONTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impalcato | a | **10,00** | [cm] |
| Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare all'asse longitudinale dell'impa | b | **10,00** | [cm] |

#### B.2. DIFFUSIONE DELL'AREA DI IMRPONTA FINO ALLA LINEA MEDIA DELLA SOLETTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Spessore di diffusione fino alla linea media della soletta | $h_p$ | 27,50 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione parallela all'asse longitudinale dell'impa | $b_x$ | 65,00 | [cm] |
| Larghezza del cuneo di punzonamento in direzione perpendicolare all'asse longitudinale de | $b_y$ | 65,00 | [cm] |
| Perimetro critico di punzonamento: | u | 260,00 | [cm] |

### C. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica a trazione al frattile del 5%: | $f_{ctk0,05}$ | 2,17 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza unitaria a taglio di calcolo di riferimento: | $T_{Rd}$ | 0,36 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |

### D. AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azione di punzonamento di calcolo | $V_{S,d}$ | **10,00** | [kN] |
| Posizionamento dell'area di impronta | | Impronta lungo il bordo | |
| Coefficiente di eccentricità del carico | β | 1,40 | [-] |
| Azione di punzonamento per unità di lunghezza | $v_{S,d}$ | 5,38 | [N/mm] |

### E. DEFINIZIONE DELLE ARMATURE

#### E.1. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PARALLELA ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **14** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 1,54 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 3,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 4,62 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **4,70** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 22,30 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $ρ_{1x}$ | 0,00319 | |

## E.2. ARMATURE TESE IN DIREZIONE PERPENDICOLARE ALL'ASSE DELL'IMPALCATO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Passo delle barre tese | $i_x$ | **20,00** | [cm] |
| Diametro delle barre tese | $Ø_{barre}$ | **20,00** | [mm] |
| Area della singola barra tesa | $A_{barra}$ | 3,14 | [cm$^2$] |
| Numero di barre tese | $n_x$ | 3,00 | |
| Area totale di armatura tesa | $A_{s,X}$ | 9,42 | [cm$^2$] |
| Copriferro netto dell'armatura tesa | $c_x$ | **6,40** | [cm] |
| Altezza utile della sezione | $d_x$ | 20,60 | [cm] |
| Percentuale geometrica dell'armatura tesa | $\rho_{1x}$ | 0,00704 | |

## G. VERIFICA A PUNZONAMENTO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza utile della sezione: | $d = (d_x - d_y)/2$ | 21,45 | [cm] |
| Coefficiente k: | $k=1,6-d \geq 1,0$ | 1,39 | [-] |
| Percentuale geometrica di armatura tesa: | $\rho_1 = \sqrt{(\rho_{1x}\ \rho_{1y})} \leq 0,015$ | 0,0047 | [-] |
| Resistenza a taglio per unità di lunghezza: | $V_{Rd1}$ | **149,29** | [N/mm] |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{Rd}$ | **149,29** | [N/mm] | > | $V_{Sd}$ | **5,38** | [N/mm] | VERIFICA POSITIVA |

# 14 DISPOSITIVI DI APPOGGIO, DI GIUNTO E VARCHI

## 14.1 DISPOSITIVI DI APPOGGIO – ISOLATORI SISMICI

Di seguito si riportano gli scarichi massimi sui singoli apparecchi di appoggio trasmessi dall'impalcato in fase statica (Stato Limite Ultimo – STR) e in fase sismica (Stato Limite di Collasso):

| SOTTOSTRUTTURA | PESI PROPRI | | | | | CARICHI PERMANENTI | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | APPOGGIO 1 | APPOGGIO 2 | APPOGGIO 3 | APPOGGIO 4 | APPOGGIO 5 | APPOGGIO 1 | APPOGGIO 2 | APPOGGIO 3 | APPOGGIO 4 | APPOGGIO 5 |
| SPALLA A | 517,91 | 448,44 | 431,23 | 451,03 | 526,73 | 522,07 | 145,51 | 184,91 | 143,06 | 392,94 |
| SPALLA B | 517,91 | 448,44 | 431,23 | 451,03 | 526,73 | 522,07 | 145,51 | 184,91 | 143,06 | 392,94 |

| SOTTOSTRUTTURA | ACCIDENTALI DA TRAFFICO | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | APPOGGIO 1 | APPOGGIO 2 | APPOGGIO 3 | APPOGGIO 4 | APPOGGIO 5 |
| SPALLA A | 870,47 | 827,77 | 425,22 | 129,15 | 99,31 |
| SPALLA B | 870,47 | 827,77 | 425,22 | 129,15 | 99,31 |

| SOTTOSTRUTTURA | SLU | | | | | SLC | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | APPOGGIO 1 | APPOGGIO 2 | APPOGGIO 3 | APPOGGIO 4 | APPOGGIO 5 | APPOGGIO 1 | APPOGGIO 2 | APPOGGIO 3 | APPOGGIO 4 | APPOGGIO 5 |
| SPALLA A | 2.657,42 | 1.941,15 | 1.433,57 | 997,83 | 1.434,56 | 1.039,98 | 593,95 | 616,14 | 594,09 | 919,67 |
| SPALLA B | 2.657,42 | 1.941,15 | 1.433,57 | 997,83 | 1.434,56 | 1.039,98 | 593,95 | 616,14 | 594,09 | 919,67 |

Si riportano di seguito le caratteristiche degli apparecchi di appoggio di progetto (isolatori elastomerici a mescola soft con smorzamento assunto pari al 16%):

| SOTTOSTRUTTURA | APPOGGIO | $N_{SLU}$ [kN] | $N_{SLC}$ [kN] | TIPOLOGIA APPOGGIO | $F_{zd}$ [kN] | V [kN] | Ke [kN/mm] | Ke [kN/m] | Kv [kN/mm] | Kv [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SPALLA A | 1 | 2.657,42 | 1.039,98 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 2 | 1.941,15 | 593,95 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 3 | 1.433,57 | 616,14 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 4 | 997,83 | 594,09 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 5 | 1.434,56 | 919,67 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| SPALLA B | 1 | 2.657,42 | 1.039,98 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 2 | 1.941,15 | 593,95 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 3 | 1.433,57 | 616,14 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 4 | 997,83 | 594,09 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | 5 | 1.434,56 | 919,67 | SI-S 400/50 | 4.680,00 | 1.150,00 | 1,01 | 1.010,00 | 1.246,00 | 1.246.000,00 |
| | | | 7.527,66 | | | | | 10.100,00 | | 12.460.000,00 |

dove:

- $k_e$ (rigidezza orizzontale equivalente)
- $k_v$ (rigidezza verticale)
- $F_{zd}$ (carico verticale massimo sull'isolatore in assenza di sisma – **SLU**)
- **V** (carico verticale massimo sull'isolatore in presenza di sisma – **SLC**)
- **Spostamento orizzontale limite: +/- 100 mm**

## 14.2 DISPOSITIVI DI APPOGGIO ISOLATORI – DEFORMAZIONI ORIZZONTALI – SISMA SLC

Di seguito è riportata la valutazione del periodo di isolamento della struttura e lo spostamento massimi sismico orizzontale:

| | | |
|---|---|---|
| PESO SISMICO | 7.527,66 | [kN] |
| MASSA SISMICA | 767,35 | [$kN_{massa}$] |
| RIGIDEZZA EQUIVALENTE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO | 10.100,00 | [kN/m] |
| PERIODO DI ISOLAMENTO | **1,732** | [sec] |
| ACCELERAZIONE SPETTRALE | **0,082** | [1/g] |
| TAGLIO SISMICO TRASMESSO DALL'IMPALCATO | **620,10** | [kN] |
| SPOSTAMENTO SISMICO ORIZZONTALE | **61,40** | [mm] |
| SPOSTAMENTO LIMITE DELL'ISOLATORE | **100,00** | [mm] |

Il periodo fondamentale della struttura isolata è pari a **1,732 s** (longitudinale e trasversale) a cui corrisponde:
**$\delta_{SLC}$ = 61,40 mm** (spostamento massimo longitudinale e trasversale - **SLC**)

Si considerano inoltre i seguenti contributi allo spostamento orizzontale:

- Variazione termica in contrazione ($\delta_1$) → **$\Delta T_{N,con}$ = 37,00 °C**
- Variazione termica in espansione ($\delta_2$) → **$\Delta T_{N,exp}$ = 45,00 °C**
- Incremento per assenza di preregolazione ($\delta_3$) → **$\Delta T_{+}$ = 20,00 °C**
- Variazione termica equivalente al ritiro ($\delta_4$) → **$\Delta T_{eq,rit}$ = 23,42 °C**

A favore di sicurezza, per la valutazione degli effetti termici e del ritiro, l'azione termica e il ritiro si ripartiscano simmetricamente rispetto al centro longitudinale dell'impalcato.

Le combinazioni adottate sono le seguenti:

- **SLC–LONG–1** → massima contrazione longitudinale – sisma longitudinale dominante:
  - $\delta_{LONG} = \delta_{SLC} + 0{,}50 \cdot (\delta_1 + \delta_3) + \delta_4$
  - $\delta_{TRASV} = 0{,}30 \cdot \delta_{SLC}$
- **SLC–LONG–2** → massima espansione longitudinale – sisma longitudinale dominante:
  - $\delta_{LONG} = \delta_{SLC} + 0{,}50 \cdot (\delta_2 + \delta_3)$
  - $\delta_{TRASV} = 0{,}30 \cdot \delta_{SLC}$
- **SLC–TRASV–1** → massima contrazione longitudinale – sisma trasversale dominante:
  - $\delta_{LONG} = 0{,}30 \cdot \delta_{SLC} + 0{,}50 \cdot (\delta_1 + \delta_3) + \delta_4$
  - $\delta_{TRASV} = \delta_{SLC}$
- **SLC–TRASV–2** → massima espansione longitudinale – sisma trasversale dominante:
  - $\delta_{LONG} = 0{,}30 \cdot \delta_{SLC} + 0{,}50 \cdot (\delta_2 + \delta_3)$
  - $\delta_{TRASV} = \delta_{SLC}$

I valori di spostamento dovuti alle variazioni termiche sono riepilogati all'interno della tabella seguente:

| VARIAZIONE TERMICA [°C] | | L* [m] | α [10-6/°C] | SPOSTAMENTO* [mm] | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta T_{N,con}$ | 37,00 | 26,92 | 12,00 | $\delta_1$ | 5,98 |
| $\Delta T_{N,exp}$ | 45,00 | 26,92 | 12,00 | $\delta_2$ | 7,27 |
| $\Delta T+$ | 20,00 | 26,92 | 12,00 | $\delta_3$ | 3,23 |
| $\Delta T_{eq,rit}$ | 23,42 | 26,92 | 12,00 | $\delta_4$ | 3,78 |

Si ottengono i seguenti valori massimi dello spostamento orizzontale:

| CONDIZIONE | $\delta_{long}$ [mm] | $\delta_{trasv}$ [mm] | |
|---|---|---|---|
| $\delta_{SLC}$ - LONG-1 | 69,78 | 18,42 | contrazione massima |
| $\delta_{SLC}$ - LONG-2 | 66,65 | 18,42 | espansione massima |
| $\delta_{SLC}$ - TRASV-1 | 26,80 | 61,40 | contrazione massima |
| $\delta_{SLC}$ - TRASV-2 | 23,67 | 61,40 | espansione massima |

Tutti i valori di spostamento risultano inferiori allo spostamento orizzontale limite dell'isolatore, pari a **100 mm**.

## 14.3 DISPOSITIVI DI APPOGGIO ISOLATORI – DEFORMAZIONI ORIZZONTALI – STATICA SLU

Oltre ai contributi delle azioni termiche precedentemente valutati si considerano:

- Spostamento longitudinale indotto dall'azione della frenatura

| | | | |
|---|---|---|---|
| AZIONE TOTALE LONGITUDINALE DELLA FRENATURA | $F_{fr}$ | 432,68 | [kN] |
| RIGIDEZZA EQUIVALENTE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO | $K_{eq}$ | 10.100,00 | [kN/m] |
| **SPOSTAMENTO LONGITUDINALE DOVUTO ALLA FRENATURA** | **$\delta_{fr}$** | **42,84** | **[mm]** |

- Spostamento trasversale indotto dall'azione del vento

| | | | |
|---|---|---|---|
| AZIONE TOTALE TRASVERSALE DEL VENTO | $F_v$ | 181,48 | [kN] |
| RIGIDEZZA EQUIVALENTE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO | $K_{eq}$ | 10.100,00 | [kN/m] |
| **SPOSTAMENTO TRASVERSALE DOVUTO AL VENTO** | **$\delta_v$** | **17,97** | **[mm]** |

Le combinazioni adottate sono le seguenti:

- **SLU– TRASV–1** → vento dominante

  $\delta_{TRASV} = 1{,}50 \cdot \delta_V$

- **SLU– TRASV–2** → altre azioni dominanti

  $\delta_{TRASV} = 0{,}60 \cdot 1{,}50 \cdot \delta_V$

- **SLU–LONG–1** → massima contrazione longitudinale – termica dominante:

  $\delta_{LONG} = 1{,}20 \cdot (\delta_1 + \delta_3 + \delta_4)$

- **SLU– LONG–2** → massima espansione longitudinale – termica dominante:

  $\delta_{LONG} = 1{,}20 \cdot (\delta_2 + \delta_3)$

- **SLU– LONG–3** → massima contrazione longitudinale – frenatura dominante:

  $\delta_{LONG} = 1{,}20 \cdot 0{,}60 \cdot (\delta_1 + \delta_3) + 1{,}20 \cdot \delta_4 + 1{,}35 \cdot \delta_{fr}$

- **SLU– LONG–4** → massima espansione longitudinale – frenatura dominante

  $\delta_{LONG} = 1{,}20 \cdot 0{,}60 \cdot (\delta_2 + \delta_3) + 1{,}35 \cdot \delta_{fr}$

Si ottengono i seguenti valori massimi:

| CONDIZIONE | $\delta_{long}$ [mm] | $\delta_{trasv}$ [mm] | |
|---|---|---|---|
| $\delta_{SLU}$ - TRASV-1 | - | 26,95 | |
| $\delta_{SLU}$ - TRASV-2 | - | 16,17 | |
| $\delta_{SLC}$ - LONG-1 | 19,77 | - | contrazione massima |
| $\delta_{SLC}$ - LONG-2 | 12,60 | - | espansione massima |
| $\delta_{SLC}$ - TRASV-1 | 69,00 | - | contrazione massima |
| $\delta_{SLC}$ - TRASV-2 | 65,39 | - | espansione massima |

Tutti i valori di spostamento risultano inferiori allo spostamento orizzontale limite dell'isolatore, pari a **100 mm**.

## 14.4 DISPOSITIVI DI GIUNTO

Il dimensionamento dei dispositivi di giunto viene condotto per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita per cui si ha:

| | | |
|---|---|---|
| PESO SISMICO | 7.527,66 | [kN] |
| MASSA SISMICA | 767,35 | [$kN_{massa}$] |
| RIGIDEZZA EQUIVALENTE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO | 10.100,00 | [kN/m] |
| PERIODO DI ISOLAMENTO | **1,732** | [sec] |
| ACCELERAZIONE SPETTRALE | **0,064** | [1/g] |
| TAGLIO SISMICO TRASMESSO DALL'IMPALCATO | **481,77** | [kN] |
| SPOSTAMENTO SISMICO ORIZZONTALE | **47,70** | [mm] |
| SPOSTAMENTO LIMITE DEL GIUNTO | **100,00** | [mm] |

Il periodo fondamentale della struttura isolata è pari a **1,790 s** (longitudinale e trasversale) a cui corrisponde:

**$\delta_{SLV}$ = 48,91 mm** (spostamento massimo longitudinale e trasversale - **SLV**)

Per quanto riguarda il dimensionamento dei giunti trasversali si considerano inoltre i seguenti contributi allo spostamento orizzontale:

- Variazione termica in contrazione ($\delta_1$) → **$\Delta T_{N,con}$ = 37,00 °C**
- Incremento per assenza di preregolazione ($\delta_3$) → **$\Delta T_+$ = 20,00 °C**
- Variazione termica equivalente al ritiro ($\delta_4$) → **$\Delta T_{eq,rit}$ = 23,42 °C**

Si ottiene pertanto:

| CONDIZIONE | $\delta_{long}$ [mm] | $\delta_{trasv}$ [mm] | |
|---|---|---|---|
| $\delta_{SLV}$ - LONG-1 | 56,09 | 14,31 | contrazione massima |
| $\delta_{SLV}$ - LONG-2 | 52,95 | 14,31 | espansione massima |
| $\delta_{SLV}$ - TRASV-1 | 22,70 | 47,70 | contrazione massima |
| $\delta_{SLV}$ - TRASV-2 | 19,56 | 47,70 | espansione massima |

## 14.5 VARCHI

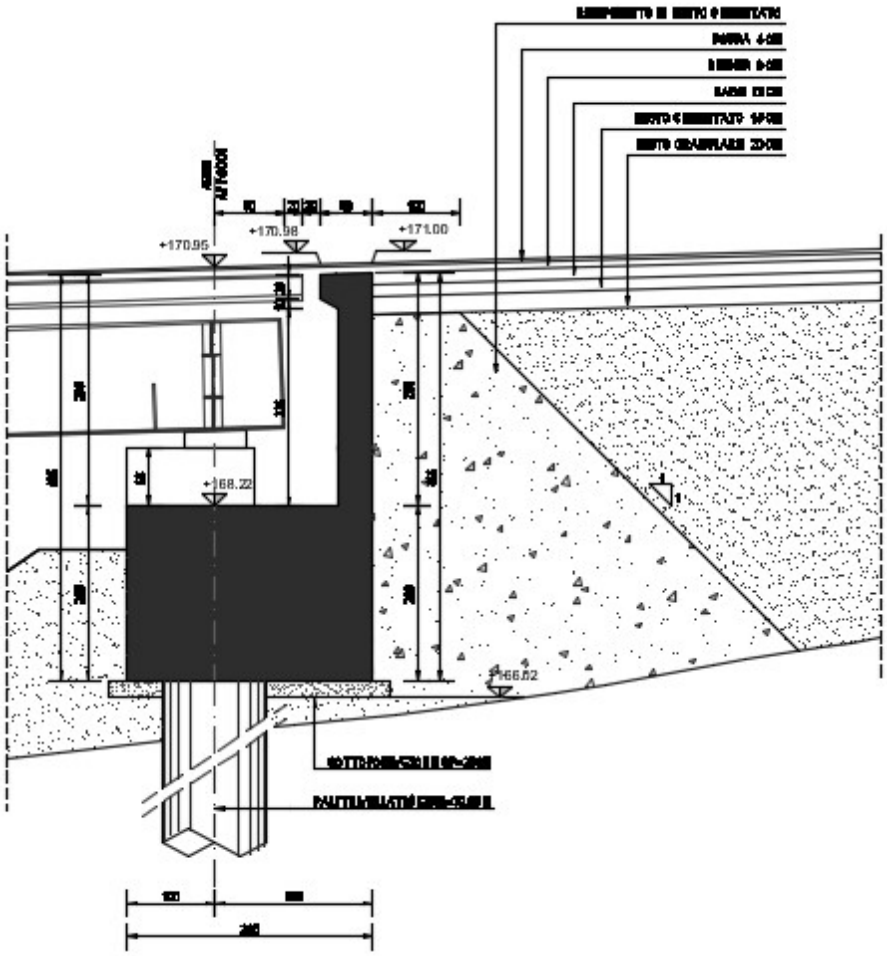
Il dimensionamento del varco viene condotto per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita. In relazione a quanto riportato nei paragrafi precedenti si ottengono le seguenti dimensioni minime per i varchi:

**$e_{trasv}$ ≅ 200 mm** (dimensione minima varco trasversale tra spalla e impalcato)

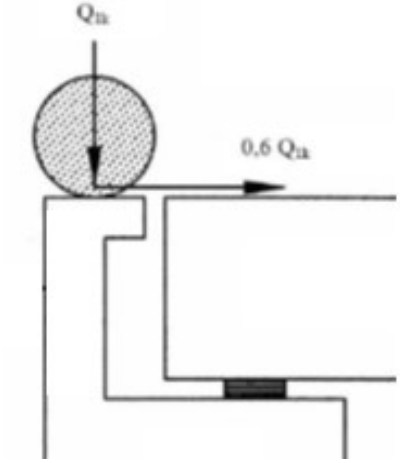
# 15 ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE

## 15.1 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI SUL PARAGHIAIA

Di seguito è riportata la sezione trasversale della spalla oggetto di verifica:




Nei paragrafi seguenti sono riportati la valutazione delle azioni sollecitanti e le verifiche del paraghiaia delle spalle. Per il calcolo delle azioni sollecitanti in corrispondenza della sezione di spiccato, maggiormente sollecitata, si considera un apposito modello locale a mensola con altezza di calcolo pari al valore massimo uguale a **2,66 m**.



## 15.1.1 SEZIONE DI BASE DEL PARAGHIAIA – VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE

### GEOMETRIA DELLA SPALLA

#### PARAGHIAIA

| | | |
|---|---|---|
| Spessore del paraghiaia | 0,40 | [m] |
| Altezza del paraghiaia | 3,22 | [m] |
| Lunghezza del paraghiaia | 1,00 | [m] |
| Volume del paraghiaia | 1,29 | [m$^3$] |
| Peso del paraghiaia | 32,20 | [kN] |
| Peso per unità di lunghezza del paraghiaia | 32,20 | [kNm] |
| Quota del baricentro del paraghiaia rispetto alla base del paraghiaia | 1,61 | [m] |

#### TERRENO DI RINTERRO

| | | |
|---|---|---|
| Peso per unità di volume del terreno di rinterro | 19,00 | [kN/m$^3$] |
| Angolo di attrito interno del terreno di rinterro | 37,00 | [°] |
| Coesione efficace del terreno di rinterro | 0,00 | [kN/m$^2$] |
| Altezza del terreno di rinterro | 3,22 | [m] |

### CARICHI AGENTI SUL PARAGHIAIA

#### SOVRACCARICHI PERMANENTI

| | | |
|---|---|---|
| Peso per unita di superficie della pavimentazione stradale | 24,00 | [kN/m$^3$] |
| Spessore medio della pavimentazione stradale | 26,50 | [cm] |
| Peso per unità di superficie della pavimentazione stradale | 6,36 | [kN/m$^2$] |

#### SOVRACCARICHI ACCIDENTALI DA TRAFFICO

| | | |
|---|---|---|
| Carico concentrato da traffico | 600,00 | [kN] |
| Carico distribuito da traffico | 9,00 | [kN/m$^2$] |
| Lunghezza dell'area di impronta del carico concentrato | 3,00 | [m] |
| Larghezza dell'area di impronta del carico concentrato | 2,20 | [m] |
| Angolo di ripartizione del carico concentrato | 30,00 | [°] |
| Lunghezza dell'area di impronta ripartita alla base del paraghiaia | 6,72 | [m] |
| Larghezza dell'area di impronta ripartita alla base del paraghiaia | 4,06 | [m] |
| Pressione esercitata dal sovraccarico concentrato in sommità del paraghiaia | 90,91 | [kN/m$^2$] |
| Pressione esercitata dal sovraccarico concentrato alla base del paraghiaia | 22,00 | [kN/m$^2$] |
| Larghezza efficace di ripartizione dei carichi accidentali | 8,08 | [m] |

#### FRENATURA SUL PARAGHIAIA

| | | |
|---|---|---|
| Carico concentrato da traffico (semiasse) | 300,00 | [kN] |
| Azione orizzontale totale della frenatura | 180,00 | [kN] |
| Azione normale di frenatura ripartita alla base del paraghiaia (45°) | 46,58 | [kN/m] |
| Azione orizzontale di frenatura ripartita alla base del paraghiaia (45°) | 27,95 | [kN/m] |
| Momento flettente di frenatura ripartito alla base del paraghiaia (45°) | 90,00 | [kNm/m] |

#### SPINTA DEL TERRENO A TERGO

| | | |
|---|---|---|
| Coefficiente di spinta a riposo del terreno | 0,398 | |
| Spinta orizzontale del terreno | 39,22 | [kN/m] |
| Momento flettente alla base del paraghiaia dovuto alla spinta del terreno | 42,10 | [kNm/m] |

#### SPINTA DOVUTA AI SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTANTI

| | | |
|---|---|---|
| Spinta orizzontale dovuta ai sovraccarichi permanenti portati | 8,15 | [kN/m] |
| Momento flettente alla base del paraghiaia dovuto alla spinta dei sovraccarichi permanenti | 13,13 | [kNm/m] |

#### SPINTA DOVUTA AI SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

| | | |
|---|---|---|
| Spinta orizzontale dovuta ai sovraccarichi accidentali | 100,83 | [kN/m] |
| Momento flettente alla base del paraghiaia dovuto alla spinta dei sovraccarichi accidentali | 175,69 | [kNm/m] |

| AZIONE SISMICA SUL PARAGHIAIA | | |
|---|---|---|
| Coefficiente sismico orizzontale (SLV) | 0,157 | |
| Coefficiente sismico verticale (SLV) | 0,079 | |
| **INERZIA SISMICA DEL PARAGHIAIA** | | |
| Peso sismico del paraghiaia | 32,20 | [kN/m] |
| Inerzia sismica del paraghiaia | 5,06 | [kN/m] |
| Momento flettente alla base del paraghiaia dovuto all'inerzia sismica del paraghiaia | 8,14 | [kNm/m] |
| **SOVRASPINTA DINAMICA DEL TERRENO A TERGO** | | |
| Metodo di analisi | WOOD | |
| Sovraspinta dinamica del terreno | 15,46 | [kN/m] |
| Momento flettente alla base del paraghiaia dovuto alla sovraspinta dinamica del terreno | 24,90 | [kNm/m] |

**RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE**

| CARICO | N [kN/m] | $V_L$ [kN/m] | $V_T$ [kN] | $M_L$ [kNm] | $M_T$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio del paraghiaia | 32,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Spinta del terreno a tergo | 0,00 | 39,22 | 0,00 | 42,10 | 0,00 |
| Spinta dei sovraccarichi permanenti a tergo | 0,00 | 8,15 | 0,00 | 13,13 | 0,00 |
| Spinta dei sovraccarichi accidentali a tergo | 0,00 | 100,83 | 0,00 | 175,69 | 0,00 |
| Azione longitudinale della frenatura | 46,58 | 27,95 | 0,00 | 90,00 | 0,00 |
| Azione sismica longitudinale | 0,00 | 20,52 | 0,00 | 33,04 | 0,00 |

## 15.1.2 SEZIONE DI BASE DEL PARAGHIAIA – VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - QUASI PERMANENTE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] |
| $g_1$ | 1,00 | 32,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 0,00 | 39,22 | 0,00 | 42,10 | 0,00 |
| $g_3$ | 1,00 | 0,00 | 8,15 | 0,00 | 13,13 | 0,00 |
| $q_1$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| f | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| s | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | 32,20 | 47,38 | 0,00 | 55,23 | 0,00 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - FREQUENTE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] |
| $g_1$ | 1,00 | 32,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 0,00 | 39,22 | 0,00 | 42,10 | 0,00 |
| $g_3$ | 1,00 | 0,00 | 8,15 | 0,00 | 13,13 | 0,00 |
| $q_1$ | 0,75 | 0,00 | 75,62 | 0,00 | 131,77 | 0,00 |
| f | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| s | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | 32,20 | 122,99 | 0,00 | 186,99 | 0,00 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 01 | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 02 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] | ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] |
| $g_1$ | 1,00 | 32,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 32,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 0,00 | 39,22 | 0,00 | 42,10 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 39,22 | 0,00 | 42,10 | 0,00 |
| $g_3$ | 1,00 | 0,00 | 8,15 | 0,00 | 13,13 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 8,15 | 0,00 | 13,13 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,00 | 100,83 | 0,00 | 175,69 | 0,00 | 0,75 | 0,00 | 75,62 | 0,00 | 131,77 | 0,00 |
| f | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 46,58 | 27,95 | 0,00 | 90,00 | 0,00 |
| s | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | 32,20 | 148,20 | 0,00 | 230,91 | 0,00 | | 78,78 | 150,94 | 0,00 | 276,99 | 0,00 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 01 | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 02 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ·ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] | γ·ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] |
| $g_1$ | 1,35 | 43,47 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 43,47 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,50 | 0,00 | 58,83 | 0,00 | 63,15 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 58,83 | 0,00 | 63,15 | 0,00 |
| $g_3$ | 1,50 | 0,00 | 12,23 | 0,00 | 19,69 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 12,23 | 0,00 | 19,69 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,00 | 136,11 | 0,00 | 237,18 | 0,00 | 1,01 | 0,00 | 102,09 | 0,00 | 177,88 | 0,00 |
| f | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 62,89 | 37,73 | 0,00 | 121,50 | 0,00 |
| s | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | 43,47 | 207,18 | 0,00 | 320,02 | 0,00 | | 106,36 | 210,88 | 0,00 | 382,22 | 0,00 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLV | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ·Ψ | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] |
| $g_1$ | 1,00 | 32,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 0,00 | 39,22 | 0,00 | 42,10 | 0,00 |
| $g_3$ | 1,00 | 0,00 | 8,15 | 0,00 | 13,13 | 0,00 |
| $q_1$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| f | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| s | 1,00 | 0,00 | 20,52 | 0,00 | 33,04 | 0,00 |
| | | **32,20** | **67,90** | **0,00** | **88,26** | **0,00** |

**RIEPILOGO DELLE AZIONI RISULTANTI DI CALCOLO ALLA BASE DEL PARAGHIAIA**

| COMBINAZIONE | $N_{Sd}$ [kN/m] | $V_{L,Sd}$ [kN/m] | $V_{T,Sd}$ [kN/m] | $M_{L,Sd}$ [kNm/m] | $M_{T,Sd}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| SLE - QUASI PERMANENTE | 32,20 | 47,38 | 0,00 | 55,23 | 0,00 |
| SLE - FREQUENTE | 32,20 | 122,99 | 0,00 | 186,99 | 0,00 |
| SLE - CARATTERISTICA 01 | 32,20 | 148,20 | 0,00 | 230,91 | 0,00 |
| SLE - CARATTERISTICA 02 | 78,78 | 150,94 | 0,00 | 276,99 | 0,00 |
| SLU - STR 01 | 43,47 | 207,18 | 0,00 | 320,02 | 0,00 |
| SLU - STR 02 | 106,36 | 210,88 | 0,00 | 382,22 | 0,00 |
| SLV | 32,20 | 67,90 | 0,00 | 88,26 | 0,00 |

## 15.2 SEZIONE DI BASE DEL PARAGHIAIA – VERIFICHE STRUTTURALI

### 15.2.1 SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a **100 cm** (striscia di larghezza unitaria) e altezza pari a **40 cm**.

L'armatura verticale (armatura di forza) è costituita da:

- **Ø20/10** lato interno (lato terreno)
- **Ø16/20** lato esterno (lato impalcato)

L'armatura orizzontale di ripartizione è costituita da:

- **Ø16/20** lato interno (lato terreno)
- **Ø16/20** lato esterno (lato impalcato)

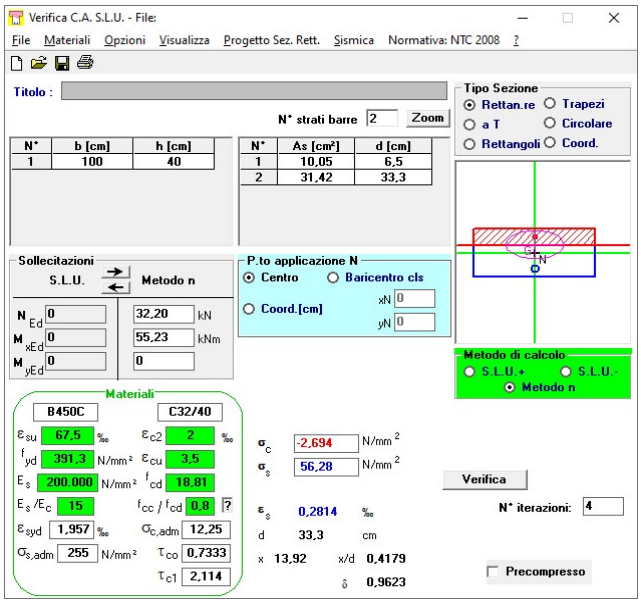
Non è prevista alcuna specifica armatura a taglio. Vengono tuttavia disposte legature trasversali costituite da spille **Ø12/20x20**. Il copriferro netto minimo è assunto pari a **40 mm**.

### 15.2.2 VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI

#### 15.2.2.1 Combinazione Quasi Permanente

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $\mathbf{N_{Sd} = 32,20\ kN}$.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $\mathbf{M_{Sd} = 55,23\ kNm}$.



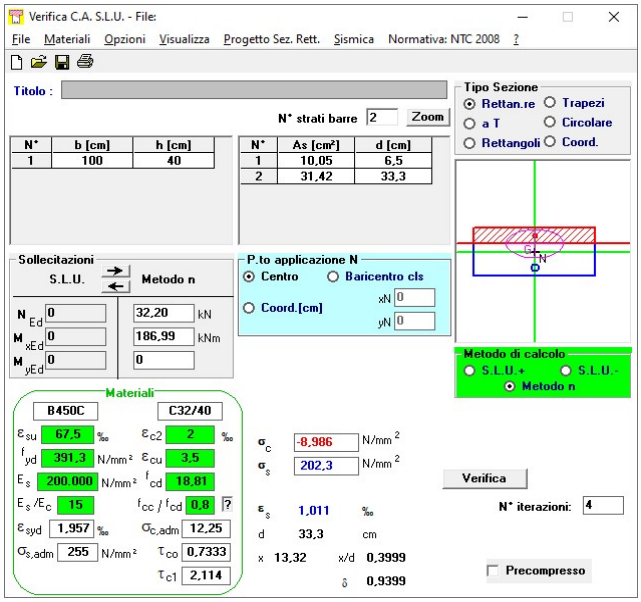

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 2,69\ N/mm^2 < 0,45 \cdot f_{ck} = 14,94\ N/mm^2$
- $\sigma_s = 56,28\ N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00\ N/mm^2$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.2.2.2 Combinazione Frequente

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $\mathbf{N_{Sd} = 32,20\ kN}$.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $\mathbf{M_{Sd} = 186,99\ kNm}$.



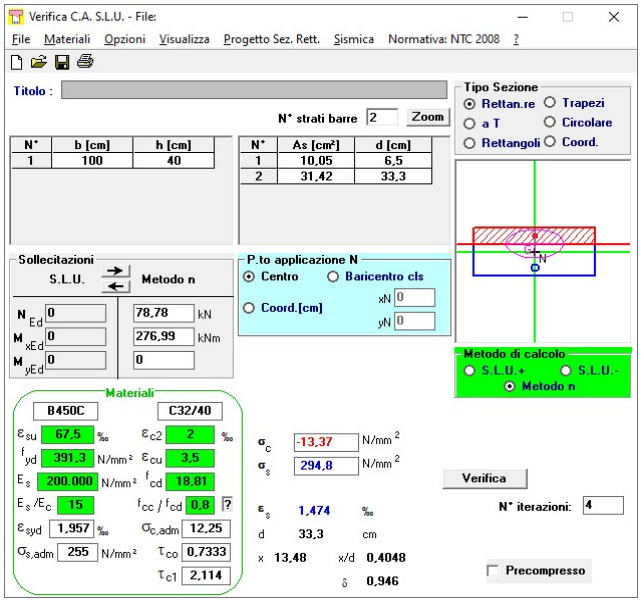

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\mathbf{\sigma_c = 8,98\ N/mm^2 < 0,45 \cdot f_{ck} = 14,94\ N/mm^2}$
- $\mathbf{\sigma_s = 202,30\ N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00\ N/mm^2}$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.2.2.3 Combinazione Caratteristica

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $\mathbf{N_{Sd} = 78,78\ kN}$.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $\mathbf{M_{Sd} = 276,99\ kNm}$.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\mathbf{\sigma_c = 13,37\ N/mm^2 < 0,60 \cdot f_{ck} = 19,92\ N/mm^2}$
- $\mathbf{\sigma_s = 294,80\ N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00\ N/mm^2}$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

## 15.2.3 VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

### 15.2.3.1 Combinazione Quasi Permanente

| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 400 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 333 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 65 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 45 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 10 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 3142 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 0 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 0 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 0 | [mm²] |

| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 56,28 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 139,2 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 3142 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 167500 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 86933 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 200000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 86933 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,03614 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| **Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls** | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000161 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000068 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000161** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 100 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 20,00 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 275 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| **Distanza massima tra le fessure** | $s_{r,max.1}$ | 247 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 339 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **247** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,20 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,04** | **[mm]** |

## 15.2.3.2 Combinazione Frequente

| Geometria della sezione | | | |
|---|---|---|---|
| Altezza della sezione | h | 400 | [mm] |
| Larghezza della sezione | b | 1000 | [mm] |
| Altezza utile della sezione | d | 333 | [mm] |
| Distanza tra asse armatura e lembo compresso | d' | 65 | [mm] |
| Ricoprimento dell'armatura | c | 45 | [mm] |
| Armatura tesa ordinaria | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.1}$ | 10 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.1}$ | 20 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.1}$ | 3142 | [mm²] |
| Armatura tesa di infittimento | | | |
| Numero di ferri tesi presenti nella sezione | $n_{f.2}$ | 0 | [-] |
| Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione | $\phi_{f.2}$ | 0 | [mm] |
| Area dei ferri tesi presenti nella sezione | $A_{sf.2}$ | 0 | [mm²] |

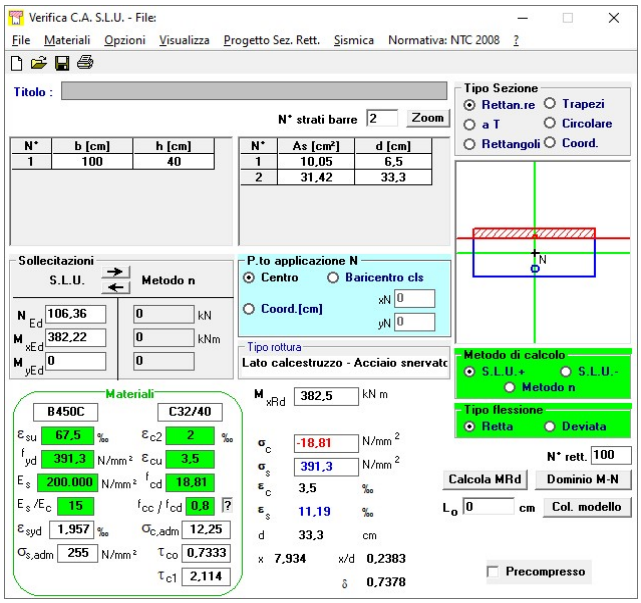
| Caratteristiche dei materiali | | | |
|---|---|---|---|
| Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo | $f_{ck}$ | 33,2 | [MPa] |
| Resistenza a trazione media del calcestruzzo | $f_{ctm}$ | 3,1 | [MPa] |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo | $E_{cm}$ | 33643 | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$ | 450 | [MPa] |
| Modulo di elasticità dell'acciaio | $E_s$ | 210000 | [MPa] |

| DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE | | | |
|---|---|---|---|
| Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata | $\sigma_s$ | 202,3 | [MPa] |
| Asse neutro della sezione | x | 133,2 | [mm] |
| Tipo e durata dei carichi applicati | | Lunga | |
| Coefficiente di omogeneizzazione | $\alpha_e$ | 6,24 | [-] |
| Area totale delle armature presenti nella zona tesa | $A_s$ | 3142 | [mm²] |
| Area efficace tesa di calcestruzzo | $A_{c,eff.1}$ | 167500 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.2}$ | 88933 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.3}$ | 200000 | [mm²] |
| | $A_{c,eff.min}$ | 88933 | [mm²] |
| Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso | $\rho_{p,eff}$ | 0,03533 | [-] |
| Resistenza efficace media del calcestruzzo | $f_{ct,eff}$ | 3,1 | [MPa] |
| Fattore di durata del carico | $k_t$ | 0,4 | [-] |
| **Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls** | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$ | 0,000578 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$ | 0,000759 | [-] |
| | $[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$ | **0,000759** | **[-]** |
| Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri) | s | 100 | [mm] |
| Diametro equivalente delle barre | $\phi_{eq}$ | 20,00 | [mm] |
| Spaziatura massima di riferimento | $s_{max,rif}$ | 275 | [mm] |
| Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione | $k_1$ | 0,800 | [-] |
| | $k_2$ | 0,500 | [-] |
| | $k_3$ | 3,400 | [-] |
| | $k_4$ | 0,425 | [-] |
| **Distanza massima tra le fessure** | $s_{r,max.1}$ | 249 | [mm] |
| | $s_{r,max.2}$ | 347 | [mm] |
| | $s_{r,max}$ | **249** | **[mm]** |
| Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente | $w_{k.lim}$ | 0,30 | [mm] |
| **Ampiezza delle fessure (di calcolo)** | $w_k$ | **0,19** | **[mm]** |

### 15.2.4 VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE RETTA

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 106,36 kN**.

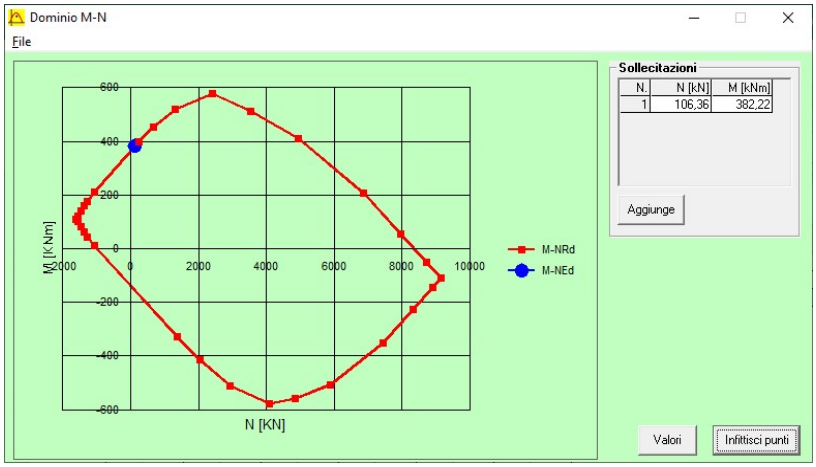
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = 382,22 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:

**$M_{Sd}$ = 382,50 kNm > $M_{Sd}$ = 382,22 kNm**

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.2.5 VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a **$V_{Sd}$ = 210,88 kN**.

## VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO
## D.M. 17.01.2018 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

| | | | |
|---|---|---|---|
| Base della zezione trasversale: | b | 100,00 | [cm] |
| Altezza della sezione trasversale: | h | 40,00 | [cm] |
| Copriferro netto: | c | 4,50 | [cm] |
| Altezza utile della sezione: | d | 35,50 | [cm] |

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 40,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 33,20 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione: | $f_{cd}$ | 18,81 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |

### AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azione tagliante di calcolo: | $V_{S,d}$ | 210,88 | [kN] |
| Azione normale di calcolo: | $N_{S,d}$ | 0,00 | [kN] |

### ARMATURA TRASVERSALE

| | | | |
|---|---|---|---|
| Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo: | θ | 45,00 | [°] |
| Cotangente dell'angolo θ: | cot(θ) | 1,00 | |
| Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: | α | 90,00 | [°] |
| Numero di bracci dell'armatura trasversale: | n | 5,00 | |
| Passo longitudinale delle armature trasversali: | s | 20,00 | [cm] |
| Diametro dell'armatura trasversale: | $Ø_{trasv}$ | 12,00 | [mm] |
| Area della singola barra: | $A_{barra}$ | 1,13 | [cm$^2$] |
| Area totale dell'armatura trasversale: | $A_{tot}$ | 28,25 | [cm$^2$/m] |

### VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot sen(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{[\cot(\alpha) + \cot(\theta)]}{[1 + \cot^2(\theta)]}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Larghezza minima della sezione: | $b_w$ | 100,00 | [cm] |
| Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo: | $f'_{yd}$ | 9,41 | [N/mm$^2$] |
| Tensione media di compressione nella sezione: | $\sigma_{cp}$ | 0,00 | [N/mm$^2$] |
| Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$: | $\alpha_c$ | 1,00 | |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" | $V_{Rsd}$ | 353,19 | [kN] |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE" | $V_{Rcd}$ | 1502,72 | [kN] |
| **AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:** | $V_{R,d}$ | 353,19 | **[kN]** |
| **COEFFICIENTE DI SICUREZZA:** | $F_S=V_{R,d}/V_{S,d}$ | 1,67 | |

**LA VERIFICA RISULTA POSITIVA.**

## 15.3 SEZIONE DI BASE DELLA TRAVE DI APPOGGIO DELL'IMPALCATO – VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE

**AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

| CARICO | APPOGGIO 1 | APPOGGIO 2 | APPOGGIO 3 | APPOGGIO 4 | APPOGGIO 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Eccentricità trasversale dell'appoggio rispetto all'asse trasversale della trave a cuscino | -7,00 | -3,50 | 0,00 | 3,50 | 7,00 | [m] |
| Pesi proprio strutturale dell'impalcato | 517,91 | 448,44 | 431,23 | 451,03 | 526,73 | [kN] |
| Carichi permanenti portati trasmessi dall'impalcato | 522,07 | 145,51 | 184,91 | 143,06 | 392,94 | [kN] |
| Carichi accidentali da traffico e folla trasmessi dall'impalcato - Condizione 1 | 870,47 | 827,77 | 425,22 | 129,15 | 99,31 | [kN] |
| Carichi accidentali da traffico e folla trasmessi dall'impalcato - Condizione 2 | 870,43 | 827,77 | 423,35 | 123,82 | -53,21 | [kN] |
| Carichi accidentali da traffico e folla trasmessi dall'impalcato - Condizione 3 | 870,42 | 826,07 | 417,53 | 98,84 | -53,19 | [kN] |
| Carichi accidentali da traffico e folla trasmessi dall'impalcato - Condizione 4 | 865,07 | 759,22 | 158,62 | 41,37 | -48,74 | [kN] |
| Carichi accidentali da traffico e folla trasmessi dall'impalcato - Condizione 5 | 786,23 | 300,56 | 51,17 | -16,65 | -31,59 | [kN] |

| | | |
|---|---|---|
| Rigidezza orizzontale del singolo isolatore sismico | 1.010,00 | [kN/m] |
| Rigidezza complessiva del sistema di isolamento della spalla | 5.050,00 | [kN/m] |
| Azione longitudinale della frenatura di pertinenza della spalla | 216,34 | [kN] |
| Azione trasversale del vento di pertinenza della spalla | 90,74 | [kN] |
| Accelerazione sismica normalizzata (SLV - Spettro smorzato) | 0,064 | [1/g] |
| Taglio sismico trasmesso dall'impalcato | 182,03 | [kN] |

**AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

| CARICO | $N_k$ [kN] | $V_{LONG,k}$ [kN] | $V_{TRASV,k}$ [kN] | $M_{LONG,k}$ [kNm] | $M_{TRASV,k}$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio strutturale dell'impalcato | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| Carichi permanenti portati trasmessi dall'impalcato | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| Carichi accidentali da traffico - Condizione 1 | 2.351,92 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -7.843,29 |
| Carichi accidentali da traffico - Condizione 2 | 2.192,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -8.929,31 |
| Carichi accidentali da traffico - Condizione 3 | 2.159,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.010,58 |
| Carichi accidentali da traffico - Condizione 4 | 1.775,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -8.909,15 |
| Carichi accidentali da traffico - Condizione 5 | 1.089,72 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.834,98 |
| Azione longitudinale della frnatura | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Azione trasversale del vento | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 0,00 |
| Azione sismica longitudinale | 0,00 | 182,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Azione simica trasversale | 0,00 | 0,00 | 182,03 | 0,00 | 0,00 |

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SPALLA**

| | | |
|---|---|---|
| Altezza media dei baggioli di appoggio | **0,66** | [m] |
| Eccentricità longitudinale dell'asse appoggi rispetto all'asse longitudinale della trave a cuscino | **0,40** | [m] |
| Eccentricità longitudinale dell'asse appoggi rispetto all'asse dei pali di fondazione | **0,00** | [m] |
| **PARAGHIAIA** | | |
| Lunghezza del paraghiaia | **20,46** | [m] |
| Spessore del paraghiaia | **0,40** | [m] |
| Altezza massima del paraghiaia | **3,22** | [m] |
| Altezza minima del paraghiaia | **2,25** | [m] |
| Volume del paraghiaia | 22,38 | [$m^3$] |
| Peso proprio del paraghiaia | **559,58** | **[kN]** |
| Quota del baricentro del paraghiaia rispetto alla base della trave a cuscino | 2,98 | [m] |
| Ascissa del baricentro del paraghiaia rispetto all'asse dei pali di fondazione | -1,60 | [m] |
| Momento flettente longitudinale riferito all'asse dei pali di fondazione | **-895,33** | **[kNm]** |
| **TRAVE A CUSCINO** | | |
| Lunghezza della trave a cuscino | 20,46 | [m] |
| Larghezza della trave a cuscino | **2,80** | [m] |
| Altezza della trave a cuscino | **2,00** | [m] |
| Volume della trave a cuscino | 114,58 | [$m^3$] |
| Peso proprio della trave a cuscino | **2.864,40** | **[kN]** |
| Quota del baricentro della trave a cuscino rispetto alla base della trave a cuscino | 1,00 | [m] |
| Ascissa del baricentro della trave a cuscino rispetto all'asse dei pali di fondazione | **-0,40** | [m] |
| Momento flettente longitudinale riferito all'asse dei pali di fondazione | **-1.145,76** | **[kNm]** |

**MURI LATERALI POSTERIORI**

| | | |
|---|---|---|
| Numero dei muri laterali | **2,00** | |
| Lunghezza dei muri laterali | **4,00** | [m] |
| Altezza media dei muri laterali | **5,22** | [m] |
| Spessore dei muri laterali | **0,75** | [m] |
| Volume dei muri laterali | 31,32 | [$m^3$] |
| Peso proprio dei muri laterali | **783,00** | **[kN]** |
| Quota del baricentro dei muri laterali rispetto alla base della trave a cuscino | 2,61 | [m] |
| Ascissa del baricentro dei muri laterali rispetto all'asse dei pali di fondazione | -3,80 | [m] |
| Momento flettente longitudinale riferito all'asse dei pali di fondazione | **-2.975,40** | **[kNm]** |
| Momento flettente trasversale riferito all'asse dei pali di fondazione | **0,00** | **[kNm]** |

**AZIONI TRASMESSE DAL RILEVATO A TERGO DELLA SPALLA**

**CARATTERISTICHE DEL TERRENO SPINGENTE**

| | | |
|---|---|---|
| Peso per unità di volume del terreno spingente | **19,00** | [$kN/m^3$] |
| Angolo di attrito interno del terreno spingente | **37,00** | [°] |
| Coesione efficace del terreno spingente | **0,00** | [$kN/m^2$] |
| Cefficiente di spinta riposo del terreno spingente | 0,398 | |

**SPINTA DEL TERRENO A TERGO**

| | | |
|---|---|---|
| Spinta orizzontale del terreno a tergo | **1.735,22** | **[kN]** |
| Momento flettente longitudinale dovuto alla spinta orizzontale del terreno a tergo | **2.738,75** | **[kNm]** |

**SPINTA DEI SOVRACCARICHI PERMANENTI A TERGO**

| | | |
|---|---|---|
| Carichi permanenti portati a tergo | **6,36** | [$kN/m^2$] |
| Spinta orizzontale dei sovraccarichi permanenti a tergo a tergo | **245,34** | **[kN]** |
| Momento flettente longitudinale dovuto alla spinta orizzontale dei sovraccarichi permanenti a tergo | **580,84** | **[kNm]** |

**SPINTA DEI SOVRACCARICHI ACCIDENTALI A TERGO**

| | | |
|---|---|---|
| Carichi permanenti portati a tergo | **30,00** | [$kN/m^2$] |
| Spinta orizzontale dei sovraccarichi permanenti a tergo a tergo | **1.157,26** | **[kN]** |
| Momento flettente longitudinale dovuto alla spinta orizzontale dei sovraccarichi permanenti a tergo | **2.739,82** | **[kNm]** |

**AZIONI SISMICHE TRASMESSE DALLA SPALLA**

| | | |
|---|---|---|
| Coefficiente sismico orizzontale | **0,1570** | |
| Coefficiente sismico verticale | **0,0785** | |

**AZIONI INERZIALI TRASMESSE DALLA SPALLA**

| | | |
|---|---|---|
| Peso sismico del paraghiaia | 559,58 | [kN] |
| Azione inerziale orizzontale longitudinale prodotta dal paraghiaia | 87,85 | [kN] |
| Azione inerziale orizzontale trasversale prodotta dal paraghiaia | 87,85 | [kN] |
| Azione inerziale verticale prodotta dal paraghiaia | 43,93 | [kN] |
| Momento flettente longitudinale prodotto dall'azione inerziale longitudinale | 262,06 | [kNm] |
| Momento flettente trasversale prodotto dall'azione inerziale trasversale | 262,06 | [kNm] |
| Peso sismico della trave a cuscino | 2.864,40 | [kN] |
| Azione inerziale orizzontale longitudinale prodotta dalla trave a cuscino | 449,71 | [kN] |
| Azione inerziale orizzontale trasversale prodotta dalla trave a cuscino | 449,71 | [kN] |
| Azione inerziale verticale prodotta dalla trave a cuscino | 224,86 | [kN] |
| Momento flettente longitudinale prodotto dall'azione inerziale longitudinale | 449,71 | [kNm] |
| Momento flettente trasversale prodotto dall'azione inerziale trasversale | 449,71 | [kNm] |
| Peso sismico dai muri laterali posteriori | 783,00 | [kN] |
| Azione inerziale orizzontale longitudinale prodotta dai muri laterali posteriori | 122,93 | [kN] |
| Azione inerziale orizzontale trasversale prodotta dai muri laterali postariori | 122,93 | [kN] |
| Azione inerziale verticale prodotta dai muri laterali posteriori | 61,47 | [kN] |
| Momento flettente longitudinale prodotto dall'azione inerziale longitudinale | 320,85 | [kNm] |
| Momento flettente trasversale prodotto dall'azione inerziale trasversale | 320,85 | [kNm] |
| Inerzia sismica orizzontale longitudinale totale della spalla | **660,50** | **[kN]** |
| Inerzia sismica orizzontale trasversale totale della spalla | **660,50** | **[kN]** |
| Momento flettente longitudinale totale prodotto dall'azione inerziale longitudinale della spalla | **1.032,62** | **[kNm]** |
| Momento flettente trasversale totale prodotto dall'azione inerziale trasversale della spalla | **1.032,62** | **[kNm]** |

**SOVRASPINTA DINAMICA DEL TERRENO A TERGO**

Per la valutazione della sovraspinta dinamica dei terreni a tergo della spalla è stato utilizzato il **metodo di Wood**.

| | | |
|---|---|---|
| Sovraspinta dinamica orizzontale longitudinale del terreno a tergo | **1.368,36** | **[kN]** |
| Momento flettente longitudinale dovuto alla sovraspinta dinamica del terreno a tergo | **3.239,58** | **[kNm]** |

**AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE VALUTATE ALLA BASE DELLA TRAVE A CUSCINO IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEI PALI**

| CARICO | | $N_k$ [kN] | $V_{LONG,k}$ [kN] | $V_{TRASV,k}$ [kN] | $M_{LONG,k}$ [kNm] | $M_{TRASV,k}$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Peso proprio strutturale della spalla | $g_1$ | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| Peso proprio strutturale dell'impalcato | $g_2$ | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| Carichi permanenti portati trasmessi dall'impalcato | $g_3$ | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| Spinta statica del terreno a tergo della spalla | $g_4$ | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| Spinta statica dei sovraccarichi permanenti portati a tergo della spalla | $g_5$ | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| Spinta statica dei sovraccarichi accidentali a tergo della spalla | $q_1$ | 0,00 | 1.157,26 | 0,00 | 2.739,82 | 0,00 |
| Carichi accidentali da traffico trasmessi dall'impalcato - Condizione 1 | $q_{2A}$ | 2.351,92 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -7.843,29 |
| Carichi accidentali da traffico trasmessi dall'impalcato - Condizione 2 | $q_{2B}$ | 2.192,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -8.929,31 |
| Carichi accidentali da traffico trasmessi dall'impalcato - Condizione 3 | $q_{2C}$ | 2.159,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.010,58 |
| Carichi accidentali da traffico trasmessi dall'impalcato - Condizione 4 | $q_{2D}$ | 1.775,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -8.909,15 |
| Carichi accidentali da traffico trasmessi dall'impalcato - Condizione 5 | $q_{2E}$ | 1.089,72 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.834,98 |
| Azione longitudinale della frenatura trasmessa dall'impalcato | $q_3$ | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 575,03 | 0,00 |
| Azione trasversale del vento trasmessa dalla spalla | v | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 |
| Azione sismica longitudinale (SLV) | $s_1$ | 0,00 | 2.210,88 | 0,00 | 4.756,02 | 0,00 |
| Azione sismica trasversale (SLV) | $s_2$ | 0,00 | 0,00 | 842,52 | 0,00 | 1.516,44 |

## 15.4 SEZIONE DI BASE DELLA TRAVE DI APPOGGIO DELL'IMPALCATO – VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

**COMBINAZIONI DI CARICO**

| CARICO | γ | ψ | COMBINAZIONE SLE - QUASI PERMANENTE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 7.970,81 | 1.980,56 | 0,00 | -1.696,90 | -841,68 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - FREQUENTE 01 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - FREQUENTE 02 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,75 | 1.763,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.882,47 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 1.644,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.696,98 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.734,75 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -6.724,15 | TOTALE | | 9.614,93 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -7.538,66 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - FREQUENTE 03 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - FREQUENTE 04 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,75 | 1.619,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.757,93 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 1.331,66 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.681,86 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.590,56 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -7.599,61 | TOTALE | | 9.302,47 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -7.523,54 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - FREQUENTE 05 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,75 | 817,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.126,23 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 8.788,10 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -5.967,91 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 01 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 02 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.157,26 | 0,00 | 2.739,82 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.157,26 | 0,00 | 2.739,82 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 1,00 | 2.351,92 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -7.843,29 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 2.192,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -8.929,31 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 10.322,73 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -8.540,26 | TOTALE | | 10.162,97 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -9.626,27 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 03 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 04 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.157,26 | 0,00 | 2.739,82 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.157,26 | 0,00 | 2.739,82 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 1,00 | 2.159,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.010,58 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1.775,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -8.909,15 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 10.130,48 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -9.707,54 | TOTALE | | 9.746,35 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -9.606,11 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 05 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 06 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.157,26 | 0,00 | 2.739,82 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 1.763,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.882,47 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 1,00 | 1.089,72 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.834,98 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 575,03 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.060,53 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -7.531,94 | TOTALE | | 9.734,75 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -6.579,44 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 07 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 08 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,75 | 1.644,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.696,98 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 1.619,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.757,93 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 575,03 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 575,03 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.614,93 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -7.393,95 | TOTALE | | 9.590,56 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -7.454,90 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 09 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 10 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,75 | 1.331,66 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.681,86 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 817,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.126,23 |
| $q_3$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 575,03 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 216,34 | 0,00 | 575,03 | 0,00 |
| v | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 54,44 | 0,00 | 144,71 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.302,47 | 3.064,84 | 90,74 | 933,00 | -7.282,35 | TOTALE | | 8.788,10 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -5.823,20 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 11 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 12 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,75 | 1.763,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.882,47 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 1.644,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.696,98 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.734,75 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -6.482,96 | TOTALE | | 9.614,93 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -7.297,47 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 13 | | | | | | | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 14 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,75 | 1.619,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.757,93 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 1.331,66 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.681,86 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 9.590,56 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -7.358,42 | TOTALE | | 9.302,47 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -7.282,35 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLE - CARATTERISTICA 15 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,75 | 0,00 | 867,95 | 0,00 | 2.054,86 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,75 | 817,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.126,23 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 90,74 | 0,00 | 241,19 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 8.788,10 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -5.726,72 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 01 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 02 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 1.562,30 | 0,00 | 3.698,75 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 1.562,30 | 0,00 | 3.698,75 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 1,00 | 3.175,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -10.588,44 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 2.959,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -12.054,56 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 14.143,96 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -11.644,51 | TOTALE | | 13.928,28 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -13.110,63 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 03 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 04 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 1.562,30 | 0,00 | 3.698,75 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 1.562,30 | 0,00 | 3.698,75 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 1,00 | 2.915,55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -12.164,28 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 2.396,98 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -12.027,35 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 13.884,42 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -13.220,35 | TOTALE | | 13.365,85 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -13.083,42 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 05 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 06 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 1.562,30 | 0,00 | 3.698,75 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 2.381,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -7.941,33 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 1,00 | 1.471,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.227,22 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 292,06 | 0,00 | 776,29 | 0,00 |
| v | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 12.439,99 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -10.283,29 | TOTALE | | 13.350,19 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -8.997,40 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 07 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 08 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,75 | 2.219,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.040,92 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 2.186,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.123,21 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 292,06 | 0,00 | 776,29 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 292,06 | 0,00 | 776,29 | 0,00 |
| v | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 13.188,43 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -10.096,99 | TOTALE | | 13.155,53 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -10.179,28 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 09 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 10 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,75 | 1.797,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.020,51 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 1.103,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.920,41 |
| $q_3$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 292,06 | 0,00 | 776,29 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 292,06 | 0,00 | 776,29 | 0,00 |
| v | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 | 1,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 81,67 | 0,00 | 217,07 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 12.766,60 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -10.076,58 | TOTALE | | 12.072,21 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -7.976,48 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 11 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 12 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,75 | 2.381,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -7.941,33 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 2.219,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.040,92 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 136,11 | 0,00 | 361,78 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 136,11 | 0,00 | 361,78 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 13.350,19 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -8.852,69 | TOTALE | | 13.188,43 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -9.952,28 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 13 | | | | | | | COMBINAZIONE SLU - STR 14 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,75 | 2.186,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.123,21 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,75 | 1.797,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -9.020,51 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 136,11 | 0,00 | 361,78 | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 136,11 | 0,00 | 361,78 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 13.155,53 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -10.034,57 | TOTALE | | 12.766,60 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -9.931,87 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLU - STR 15 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,35 | 1,00 | 5.679,42 | 0,00 | 0,00 | -6.772,26 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,35 | 1,00 | 3.206,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,59 |
| $g_3$ | 1,50 | 1,00 | 2.082,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.368,73 |
| $g_4$ | 1,35 | 1,00 | 0,00 | 2.342,54 | 0,00 | 3.697,32 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 368,01 | 0,00 | 871,26 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,35 | 0,75 | 0,00 | 1.171,73 | 0,00 | 2.774,07 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,35 | 0,75 | 1.103,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -6.920,41 |
| $q_3$ | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 136,11 | 0,00 | 361,78 |
| $s_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | TOTALE | | 12.072,21 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -7.831,77 |

| CARICO | COMBINAZIONE SLV 01 | | | | | | | COMBINAZIONE SLV 02 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] | γ | ψ | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
| $g_1$ | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 4.206,98 | 0,00 | 0,00 | -5.016,49 | 0,00 |
| $g_2$ | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 | 1,00 | 1,00 | 2.375,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 70,81 |
| $g_3$ | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 | 1,00 | 1,00 | 1.388,49 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -912,49 |
| $g_4$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1.735,22 | 0,00 | 2.738,75 | 0,00 |
| $g_5$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 245,34 | 0,00 | 580,84 | 0,00 |
| $q_1$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2A}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2B}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2C}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2D}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{2E}$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $q_3$ | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| v | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $s_1$ | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 2.210,88 | 0,00 | 4.756,02 | 0,00 | 1,00 | 0,30 | 0,00 | 663,26 | 0,00 | 1.426,81 | 0,00 |
| $s_2$ | 1,00 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 252,76 | 0,00 | 454,93 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 842,52 | 0,00 | 1.516,44 |
| | TOTALE | | 7.970,81 | 4.191,44 | 252,76 | 3.059,13 | -386,75 | TOTALE | | 7.970,81 | 2.643,82 | 842,52 | -270,09 | 674,76 |

**RIEPILOGO DELLA AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO ALLA BASE DELLA TRAVE A CUSCINO IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEI PALI**

| COMBINAZIONE | $N_{Sd}$ [kN] | $V_{LONG,Sd}$ [kN] | $V_{TRASV,Sd}$ [kN] | $M_{LONG,Sd}$ [kNm] | $M_{TRASV,Sd}$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|
| SLE - QUASI PERMANENTE | 7.970,81 | 1.980,56 | 0,00 | -1.696,90 | -841,68 |
| SLE - FREQUENTE 01 | 9.734,75 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -6.724,15 |
| SLE - FREQUENTE 02 | 9.614,93 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -7.538,66 |
| SLE - FREQUENTE 03 | 9.590,56 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -7.599,61 |
| SLE - FREQUENTE 04 | 9.302,47 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -7.523,54 |
| SLE - FREQUENTE 05 | 8.788,10 | 2.848,50 | 0,00 | 357,97 | -5.967,91 |
| SLE - CARATTERISTICA 01 | 10.322,73 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -8.540,26 |
| SLE - CARATTERISTICA 02 | 10.162,97 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -9.626,27 |
| SLE - CARATTERISTICA 03 | 10.130,48 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -9.707,54 |
| SLE - CARATTERISTICA 04 | 9.746,35 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -9.606,11 |
| SLE - CARATTERISTICA 05 | 9.060,53 | 3.137,82 | 54,44 | 1.042,92 | -7.531,94 |
| SLE - CARATTERISTICA 06 | 9.734,75 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -6.579,44 |
| SLE - CARATTERISTICA 07 | 9.614,93 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -7.393,95 |
| SLE - CARATTERISTICA 08 | 9.590,56 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -7.454,90 |
| SLE - CARATTERISTICA 09 | 9.302,47 | 3.064,84 | 90,74 | 933,00 | -7.282,35 |
| SLE - CARATTERISTICA 10 | 8.788,10 | 3.064,84 | 54,44 | 933,00 | -5.823,20 |
| SLE - CARATTERISTICA 11 | 9.734,75 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -6.482,96 |
| SLE - CARATTERISTICA 12 | 9.614,93 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -7.297,47 |
| SLE - CARATTERISTICA 13 | 9.590,56 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -7.358,42 |
| SLE - CARATTERISTICA 14 | 9.302,47 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -7.282,35 |
| SLE - CARATTERISTICA 15 | 8.788,10 | 2.848,50 | 90,74 | 357,97 | -5.726,72 |
| SLU - STR 01 | 14.143,96 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -11.644,51 |
| SLU - STR 02 | 13.928,28 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -13.110,63 |
| SLU - STR 03 | 13.884,42 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -13.220,35 |
| SLU - STR 04 | 13.365,85 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -13.083,42 |
| SLU - STR 05 | 12.439,99 | 4.272,86 | 81,67 | 1.495,07 | -10.283,29 |
| SLU - STR 06 | 13.350,19 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -8.997,40 |
| SLU - STR 07 | 13.188,43 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -10.096,99 |
| SLU - STR 08 | 13.155,53 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -10.179,28 |
| SLU - STR 09 | 12.766,60 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -10.076,58 |
| SLU - STR 10 | 12.072,21 | 4.174,34 | 81,67 | 1.346,68 | -7.976,48 |
| SLU - STR 11 | 13.350,19 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -8.852,69 |
| SLU - STR 12 | 13.188,43 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -9.952,28 |
| SLU - STR 13 | 13.155,53 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -10.034,57 |
| SLU - STR 14 | 12.766,60 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -9.931,87 |
| SLU - STR 15 | 12.072,21 | 3.882,28 | 136,11 | 570,38 | -7.831,77 |
| SLV 01 | 7.970,81 | 4.191,44 | 252,76 | 3.059,13 | -386,75 |
| SLV 02 | 7.970,81 | 2.643,82 | 842,52 | -270,09 | 674,76 |

## 15.5 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO SUI PALI DI FONDAZIONE TRASMESSE DALLA SPALLA

Di seguito è riportata la determinazione delle azioni normali, delle risultanti di taglio e della componente longitudinale del momento flettente sui pali di fondazione per le differenti combinazioni di carico considerate:

| Numero di pali | 5 |
|---|---|

| | PALO 1 | PALO 2 | PALO 3 | PALO 4 | PALO 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Y | -7,20 | -3,60 | 0,00 | 3,60 | 7,20 | |
| $Y^2$ | 51,84 | 12,96 | 0,00 | 12,96 | 51,84 | **77,76** |

| COMBINAZIONI DI CARICO | $N_{Sd,1}$ [kN] | $N_{Sd,2}$ [kN] | $N_{Sd,3}$ [kN] | $N_{Sd,4}$ [kN] | $N_{Sd,5}$ [kN] | $R_{Sd}$ [kN] | $M_{d,long}$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SLE - QUASI PERMANENTE | 1.485,55 | 1.527,63 | 1.569,70 | 1.611,78 | 1.653,85 | 356,97 | -363,77 |
| SLE - FREQUENTE 01 | 1.305,58 | 1.614,25 | 1.922,91 | 2.231,58 | 2.540,24 | 516,51 | 5,55 |
| SLE - FREQUENTE 02 | 1.212,44 | 1.556,43 | 1.900,42 | 2.244,42 | 2.588,41 | 516,51 | 5,55 |
| SLE - FREQUENTE 03 | 1.203,46 | 1.549,80 | 1.896,15 | 2.242,50 | 2.588,84 | 516,51 | 5,55 |
| SLE - FREQUENTE 04 | 1.150,49 | 1.494,50 | 1.838,51 | 2.182,52 | 2.526,53 | 516,51 | 5,55 |
| SLE - FREQUENTE 05 | 1.187,82 | 1.461,69 | 1.735,57 | 2.009,44 | 2.283,32 | 516,51 | 5,55 |
| SLE - CARATTERISTICA 01 | 1.232,66 | 1.636,65 | 2.040,65 | 2.444,64 | 2.848,64 | 569,79 | 128,66 |
| SLE - CARATTERISTICA 02 | 1.108,47 | 1.559,56 | 2.010,66 | 2.461,76 | 2.912,86 | 569,79 | 128,66 |
| SLE - CARATTERISTICA 03 | 1.096,49 | 1.550,73 | 2.004,97 | 2.459,20 | 2.913,44 | 569,79 | 128,66 |
| SLE - CARATTERISTICA 04 | 1.025,87 | 1.476,99 | 1.928,11 | 2.379,23 | 2.830,35 | 569,79 | 128,66 |
| SLE - CARATTERISTICA 05 | 1.075,64 | 1.433,25 | 1.790,86 | 2.148,47 | 2.506,08 | 569,79 | 128,66 |
| SLE - CARATTERISTICA 06 | 1.292,65 | 1.607,78 | 1.922,91 | 2.238,04 | 2.553,18 | 559,88 | 116,58 |
| SLE - CARATTERISTICA 07 | 1.199,50 | 1.549,96 | 1.900,42 | 2.250,88 | 2.601,34 | 559,88 | 116,58 |
| SLE - CARATTERISTICA 08 | 1.190,52 | 1.543,34 | 1.896,15 | 2.248,96 | 2.601,78 | 559,88 | 116,58 |
| SLE - CARATTERISTICA 09 | 1.128,94 | 1.483,72 | 1.838,51 | 2.193,30 | 2.548,09 | 560,07 | 116,58 |
| SLE - CARATTERISTICA 10 | 1.174,88 | 1.455,22 | 1.735,57 | 2.015,91 | 2.296,25 | 559,88 | 116,58 |
| SLE - CARATTERISTICA 11 | 1.284,02 | 1.603,47 | 1.922,91 | 2.242,36 | 2.561,80 | 516,82 | 5,55 |
| SLE - CARATTERISTICA 12 | 1.190,88 | 1.545,65 | 1.900,42 | 2.255,20 | 2.609,97 | 516,82 | 5,55 |
| SLE - CARATTERISTICA 13 | 1.181,90 | 1.539,02 | 1.896,15 | 2.253,28 | 2.610,40 | 516,82 | 5,55 |
| SLE - CARATTERISTICA 14 | 1.128,94 | 1.483,72 | 1.838,51 | 2.193,30 | 2.548,09 | 516,82 | 5,55 |
| SLE - CARATTERISTICA 15 | 1.166,26 | 1.450,91 | 1.735,57 | 2.020,22 | 2.304,88 | 516,82 | 5,55 |
| SLU - STR 01 | 1.703,17 | 2.253,04 | 2.802,90 | 3.352,76 | 3.902,63 | 776,01 | 189,35 |
| SLU - STR 02 | 1.535,51 | 2.148,97 | 2.762,42 | 3.375,88 | 3.989,33 | 776,01 | 189,35 |
| SLU - STR 03 | 1.519,34 | 2.137,04 | 2.754,73 | 3.372,42 | 3.990,11 | 776,01 | 189,35 |
| SLU - STR 04 | 1.424,01 | 2.037,50 | 2.650,98 | 3.264,46 | 3.877,94 | 776,01 | 189,35 |
| SLU - STR 05 | 1.491,19 | 1.978,44 | 2.465,68 | 2.952,92 | 3.440,17 | 776,01 | 189,35 |
| SLU - STR 06 | 1.784,16 | 2.214,06 | 2.643,95 | 3.073,85 | 3.503,75 | 762,63 | 173,04 |
| SLU - STR 07 | 1.658,41 | 2.136,00 | 2.613,60 | 3.091,19 | 3.568,78 | 762,63 | 173,04 |
| SLU - STR 08 | 1.646,29 | 2.127,06 | 2.607,83 | 3.088,60 | 3.569,37 | 762,63 | 173,04 |
| SLU - STR 09 | 1.574,79 | 2.052,40 | 2.530,01 | 3.007,63 | 3.485,24 | 762,63 | 173,04 |
| SLU - STR 10 | 1.625,17 | 2.008,11 | 2.391,04 | 2.773,98 | 3.156,91 | 762,63 | 173,04 |
| SLU - STR 11 | 1.771,22 | 2.207,59 | 2.643,95 | 3.080,32 | 3.516,69 | 704,57 | 23,15 |
| SLU - STR 12 | 1.645,48 | 2.129,54 | 2.613,60 | 3.097,66 | 3.581,72 | 704,57 | 23,15 |
| SLU - STR 13 | 1.633,35 | 2.120,59 | 2.607,83 | 3.095,06 | 3.582,30 | 704,57 | 23,15 |
| SLU - STR 14 | 1.561,85 | 2.045,93 | 2.530,01 | 3.014,10 | 3.498,18 | 704,57 | 23,15 |
| SLU - STR 15 | 1.612,24 | 2.001,64 | 2.391,04 | 2.780,44 | 3.169,85 | 704,57 | 23,15 |
| SLV 01 | 1.446,26 | 1.507,98 | 1.569,70 | 1.631,42 | 1.693,14 | 764,53 | 488,43 |
| SLV 02 | 1.354,60 | 1.462,15 | 1.569,70 | 1.677,25 | 1.784,81 | 504,85 | -108,11 |

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori di calcolo massimi delle azioni sollecitanti di calcolo sui pali di fondazione per le differenti combinazioni di carico considerate:

| COMBINAZIONE | $N_{Sd,MAX}$ [kN] | $N_{Sd,MIN}$ [kN] | $R_{Sd,MAX}$ [kN] | $M_{Sd,MAX}$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|
| SLE - QUASI PERMANENTE | 1.361,87 | 1.295,07 | 330,09 | -282,82 |
| SLE - FREQUENTE | 1.901,64 | 1.227,86 | 474,75 | 59,66 |
| SLE - RARA | 2.075,82 | 1.211,20 | 523,05 | 173,82 |
| SLU - STR | 2.841,64 | 1.665,26 | 712,27 | 249,18 |
| SLV | 1.355,24 | 1.301,69 | 699,84 | 509,85 |

## 15.6 AZIONI SOLLECITANTI SUL SINGOLO PALO CONNESSE ALLA DEFORMABILITÀ ORIZZONTALE DEL TERRENO

Per effetto del taglio e della deformabilità del terreno nell'intorno del palo si generano le azioni sollecitanti definite nel seguito.

### 15.6.1 VALUTAZIONE DELLA COSTANTE DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO

Per terreni **prevalentemente incoerenti** si considera la costante di reazione orizzontale del terreno variabile con la profondità, secondo la seguente relazione lineare:

$$k_h = n_h \cdot \frac{z}{d}$$

dove:

- $n_h$ → costante dipendente dalla litologia
- z → profondità
- d → diametro del palo

Il valore della costante $n_h$ viene determinato mediante la seguente relazione (Viggiani 1999 – [14.25]:

$$n_h = \frac{A \cdot \gamma}{1,35}$$

Il coefficiente A per terreni incoerenti è determinato secondo la seguente tabella (Viggiani 1999 – Tab. 14.5), in relazione allo stato di addensamento del terreno:

| Stato di addensamento | Sciolto | Medio | Denso |
|---|---|---|---|
| Campo dei valori di *A* | 100 ÷ 300 | 300 ÷ 1000 | 1000 ÷ 3000 |
| Valore consigliato di *A* | 200 | 600 | 1500 |
| $N_h$ [N/cm$^3$], sabbie non immerse | 2,5 | 7,5 | 20 |
| $N_h$ [N/cm$^3$], sabbie immerse | 1,5 | 5 | 12 |

Lo stato di addensamento del terreno è valutato come segue in relazione alla densità relativa del terreno stesso:

| $D_r$ (%) | stato di addensamento |
|---|---|
| 0 – 15 | molto sciolto |
| 15 – 35 | sciolto |
| 35 – 65 | medio |
| 65 – 85 | denso |
| 85 – 100 | molto denso |

Il terreno al di sopra della quota di falda è considerato "secco – umido", mentre il terreno al di sotto è considerato "saturo".

Il valore di $\mathbf{k_h}$ finale è stato determinato come media ponderata dei valori di $\mathbf{k_h}$ valutati per ciascuno strato della stratigrafia considerata:

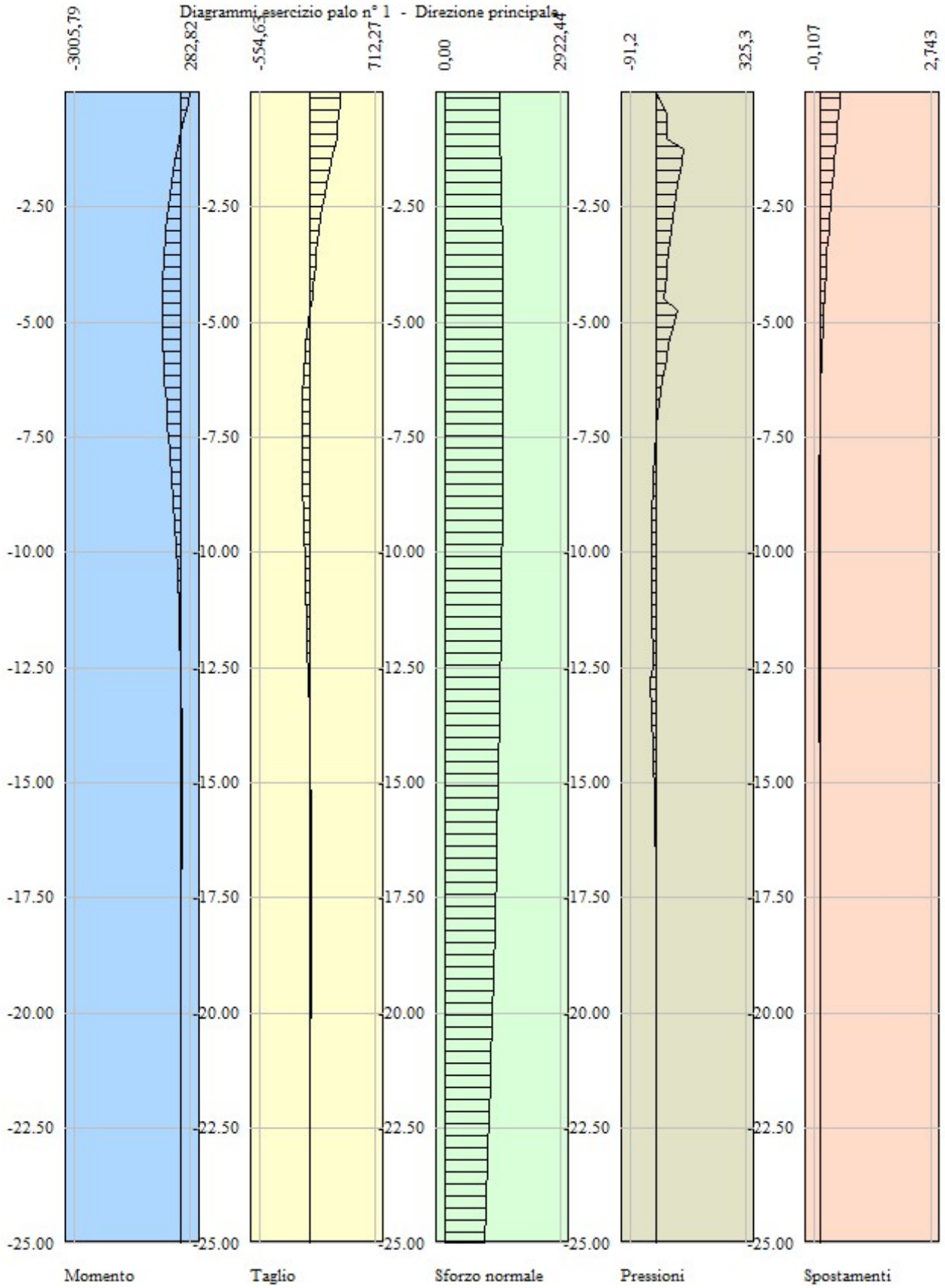
| SPALLA A | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| STRATO | UNITA' LITOTECNICA | QUOTA INIZIALE [m] | QUOTA FINALE [m] | $H_{strato}$ [m] | $D_r$ [%] | STATO DI ADDENSAMENTO | A | γ [kN/m$^3$] | $n_h$ [N/cm$^3$] | d [m] | $k_{h,iniziale}$ [N/cm$^3$] | $k_{h,finale}$ [N/cm$^3$] | $k_{h,media}$ [N/cm$^3$] | $k_{h,media}$ [kg/cm$^3$] |
| 1 | a2g (superficie) | 0,00 | 1,10 | 1,10 | 79,08% | DENSO | 1.500,00 | 18,50 | 20,56 | 1,20 | 0,00 | 18,84 | 9,42 | 0,94 |
| 2 | a2g (superficie) | 1,10 | 4,60 | 3,50 | 79,08% | DENSO | 1.500,00 | 9,97 | 11,08 | 1,20 | 10,15 | 42,46 | 26,31 | 2,63 |
| 3 | a2g (base) | 4,60 | 12,25 | 7,65 | 79,08% | DENSO | 1.500,00 | 9,97 | 11,08 | 1,20 | 42,46 | 113,09 | 77,78 | 7,78 |
| 4 | VLU3 (SUBSTRATO) | 12,25 | 25,00 | 12,75 | 100,00% | MOLTO DENSO | 1.500,00 | 10,13 | 11,26 | 1,20 | 114,90 | 234,49 | 174,70 | 17,47 |

| SPALLA B | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| STRATO | UNITA' LITOTECNICA | QUOTA INIZIALE [m] | QUOTA FINALE [m] | $H_{strato}$ [m] | $D_r$ [%] | STATO DI ADDENSAMENTO | A | γ [kN/m$^3$] | $n_h$ [N/cm$^3$] | d [m] | $k_{h,iniziale}$ [N/cm$^3$] | $k_{h,finale}$ [N/cm$^3$] | $k_{h,media}$ [N/cm$^3$] | $k_{h,media}$ [kg/cm$^3$] |
| 1 | Rilevato | 0,00 | 0,62 | 0,62 | - | - | - | - | - | 1,20 | - | - | - | - |
| 2 | a2g (superficie) | 0,62 | 1,32 | 0,70 | 79,08% | DENSO | 1.500,00 | 18,50 | 20,56 | 1,20 | 10,62 | 22,61 | 16,62 | 1,66 |
| 3 | a2g (superficie) | 1,32 | 5,62 | 4,30 | 79,08% | DENSO | 1.500,00 | 9,97 | 11,08 | 1,20 | 12,19 | 51,88 | 32,03 | 3,20 |
| 4 | a2g (base) | 5,62 | 14,31 | 8,69 | 79,08% | DENSO | 1.500,00 | 9,97 | 11,08 | 1,20 | 51,88 | 132,10 | 91,99 | 9,20 |
| 5 | VLU3 (SUBSTRATO) | 14,31 | 25,00 | 10,69 | 100,00% | MOLTO DENSO | 1.500,00 | 10,13 | 11,26 | 1,20 | 134,22 | 234,49 | 184,36 | 18,44 |

In corrispondenza della spalla B lo strato di rilevato non è stato tenuto in conto, a favore di sicurezza, nei calcoli di dimensionamento e verifica.

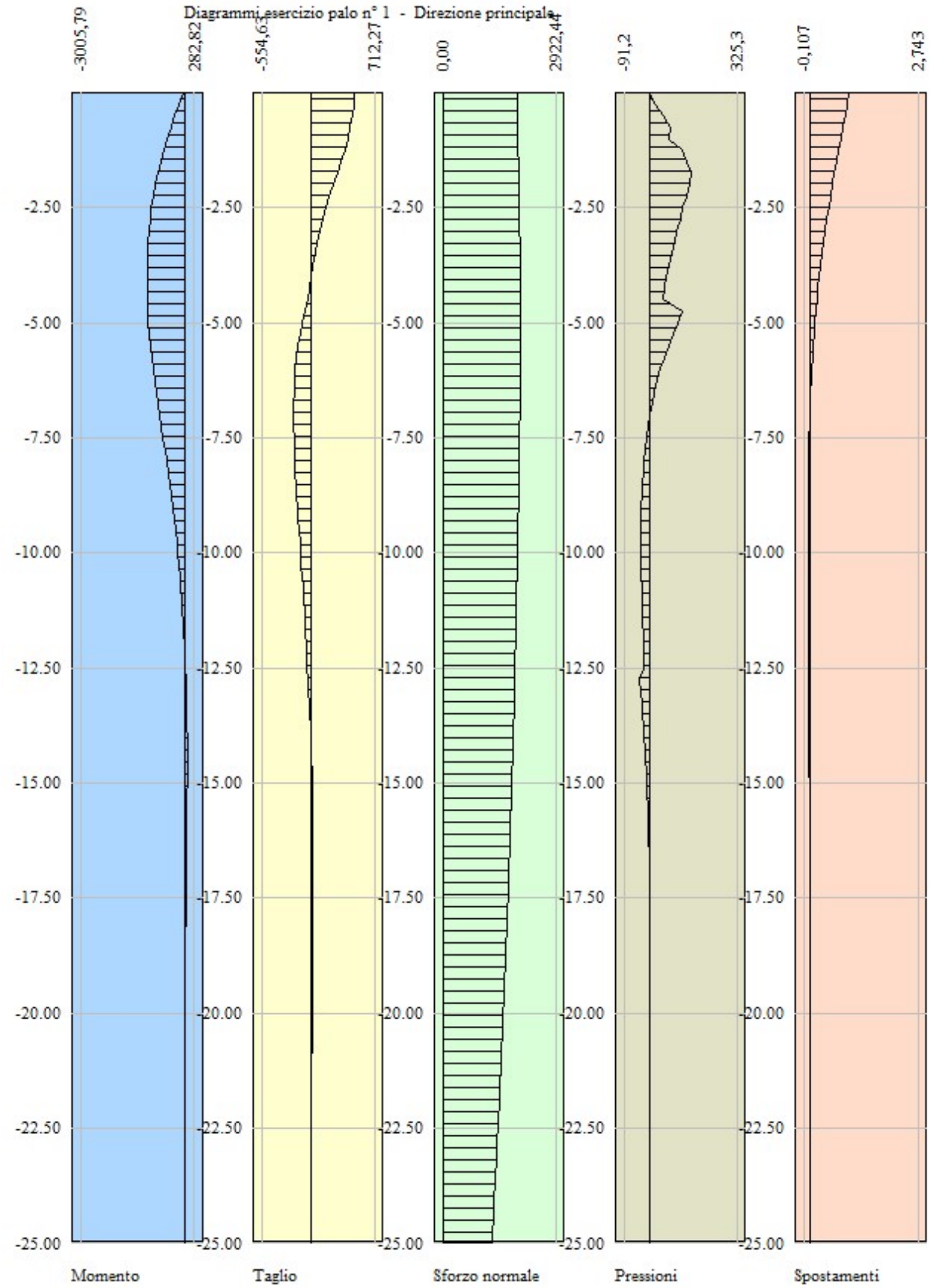
**Le azioni sollecitanti sui pali sono valutate nel caso di "palo libero di ruotare in testa soggetto ad azione tagliante e momento flettente"**.

### 15.6.2 SPALLA A - COMBINAZIONE SLE – QUASI PERMANENTE



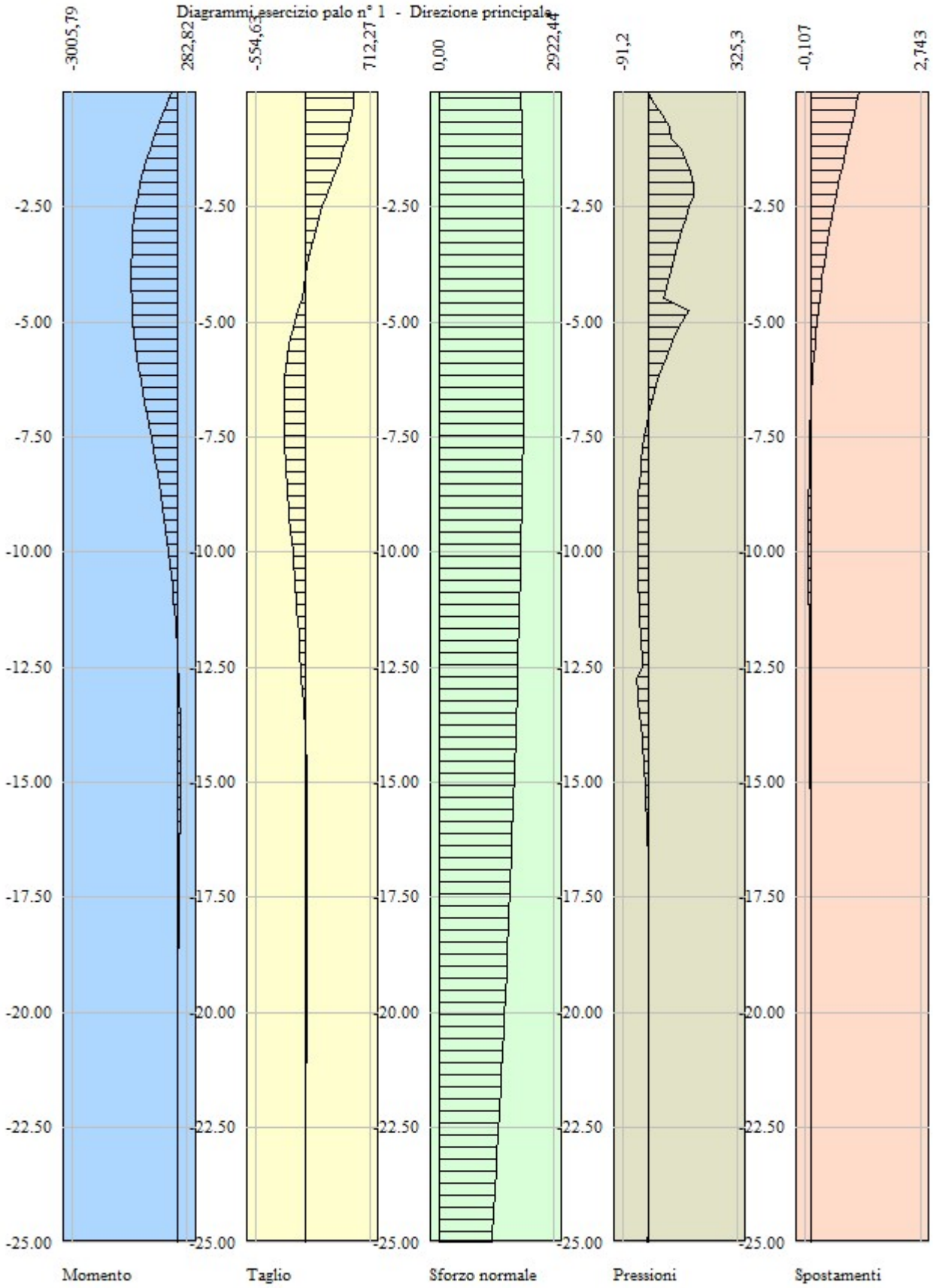

Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -518,45 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 330,09 kN**.

### 15.6.3 SPALLA A - COMBINAZIONE SLE – FREQUENTE



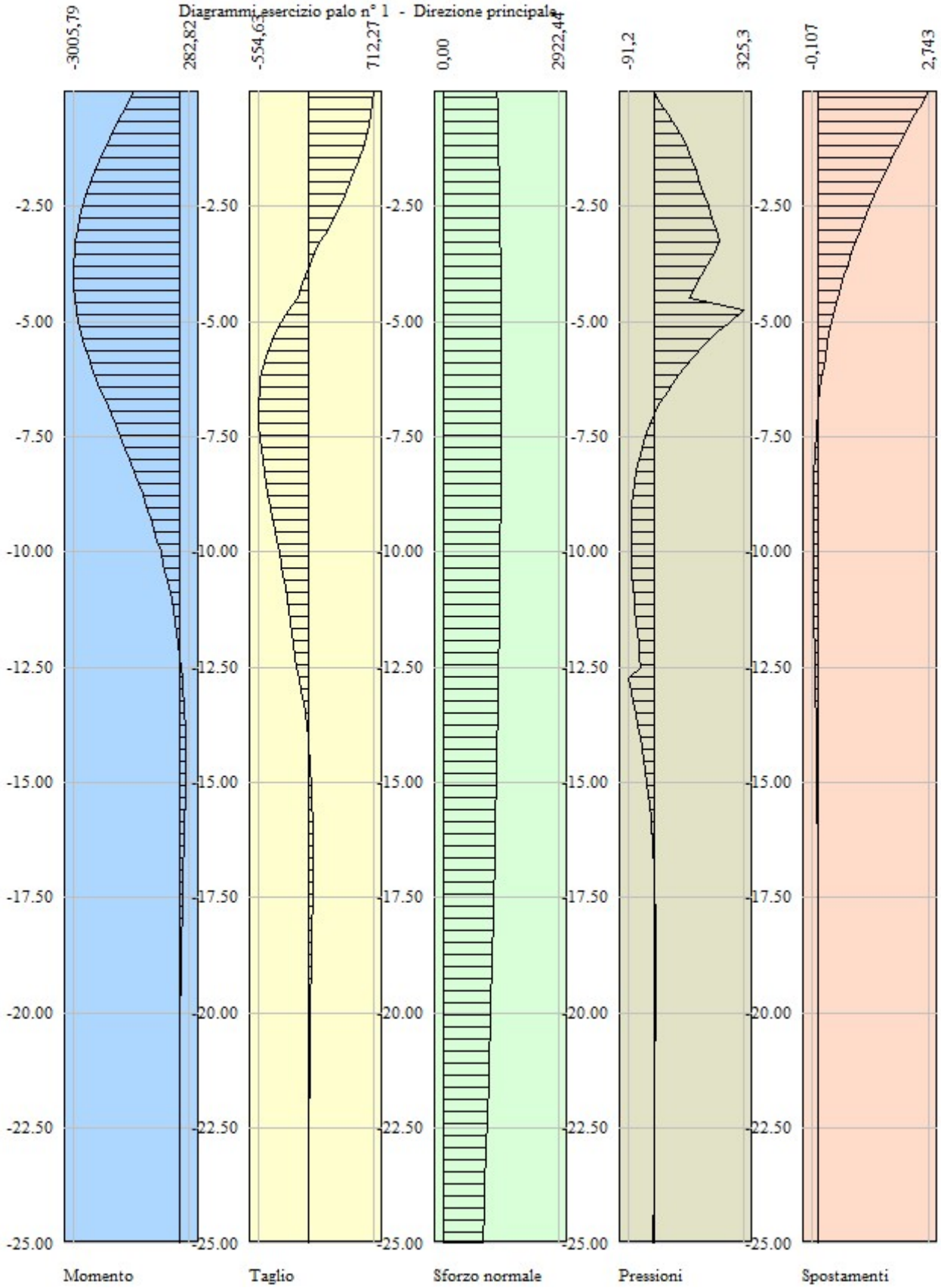

Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -1.093,19 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 474,75 kN**.

### 15.6.4 SPALLA A - COMBINAZIONE SLE – RARA



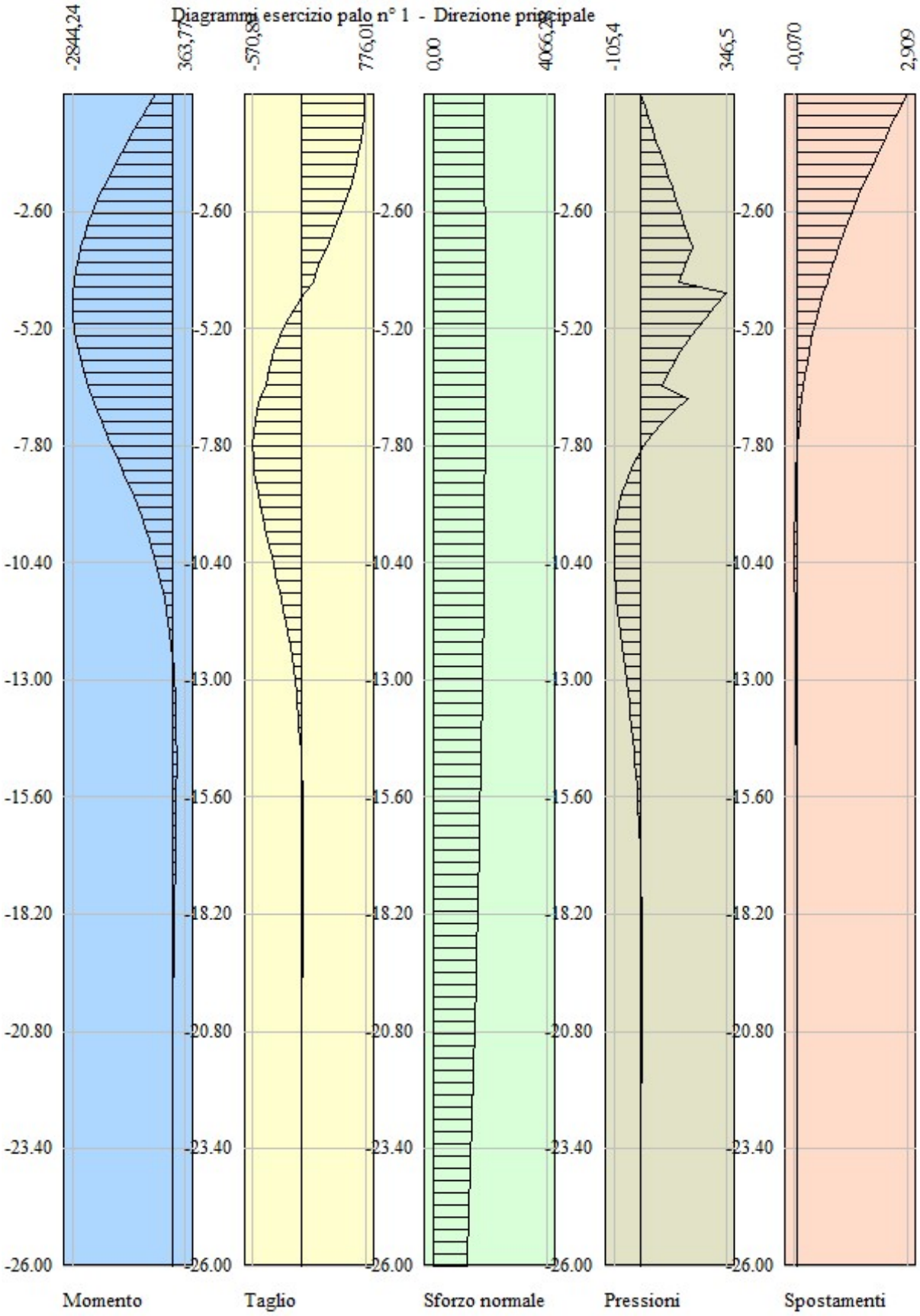

Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -1.328,58 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 523,05 kN**.

### 15.6.5 SPALLA A - COMBINAZIONE SLU – STR



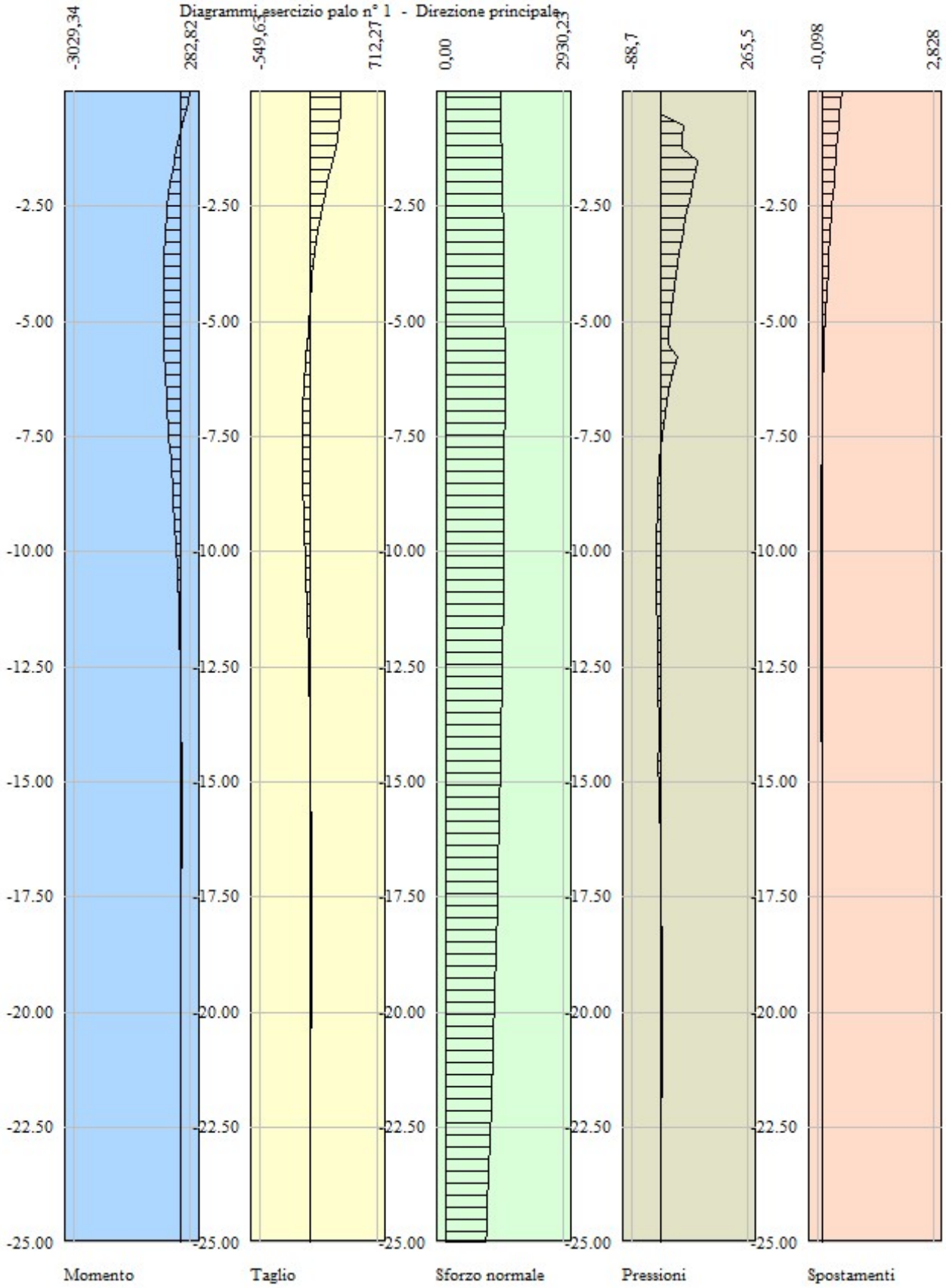

Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -2.043,26 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 712,27 kN**.

### 15.6.6 SPALLA A - COMBINAZIONE SLV



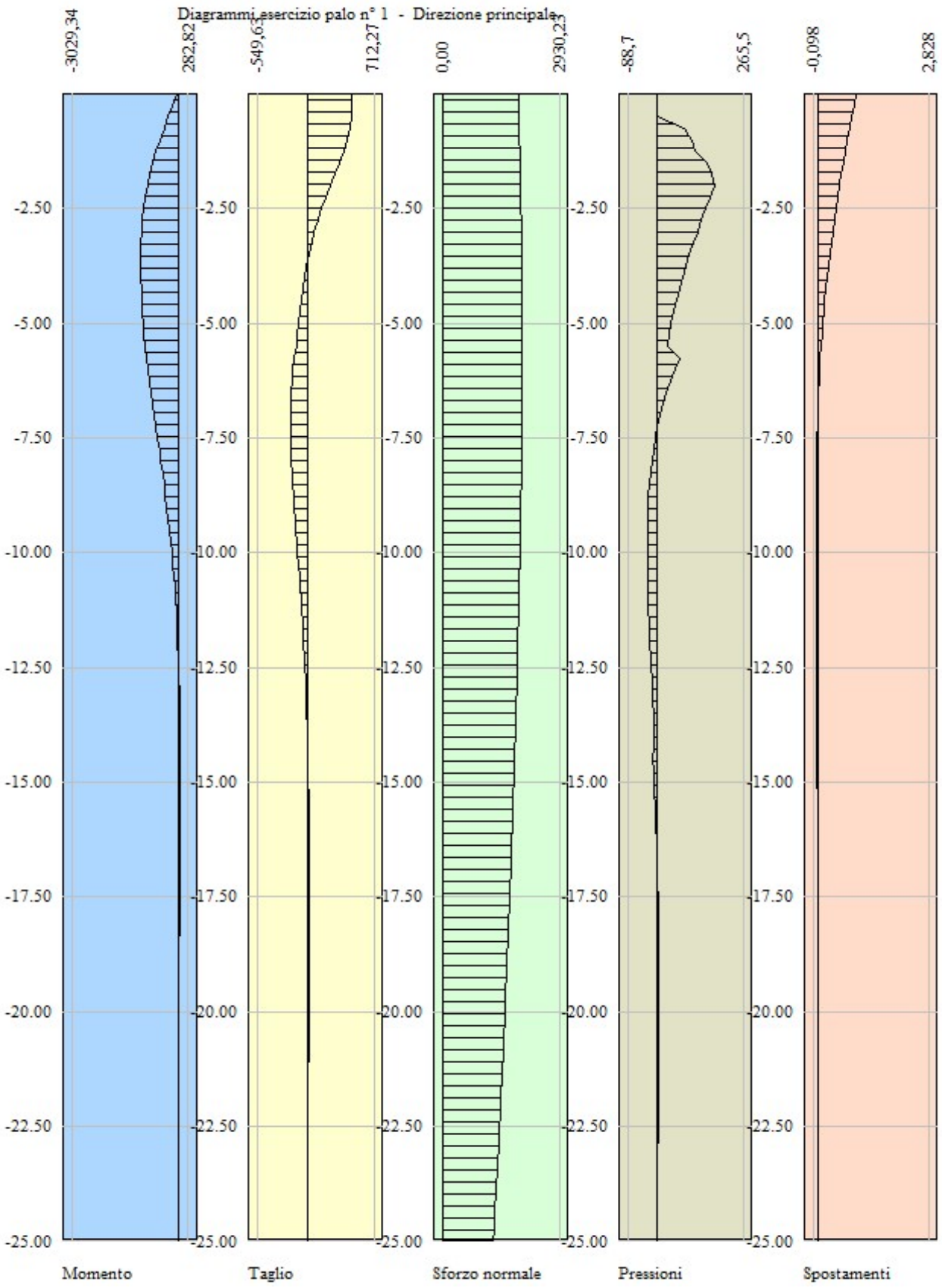

Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -3.005,79 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 699,84 kN**.

### 15.6.7 SPALLA B - COMBINAZIONE SLE – QUASI PERMANENTE




Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -492,85 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 330,09 kN**.

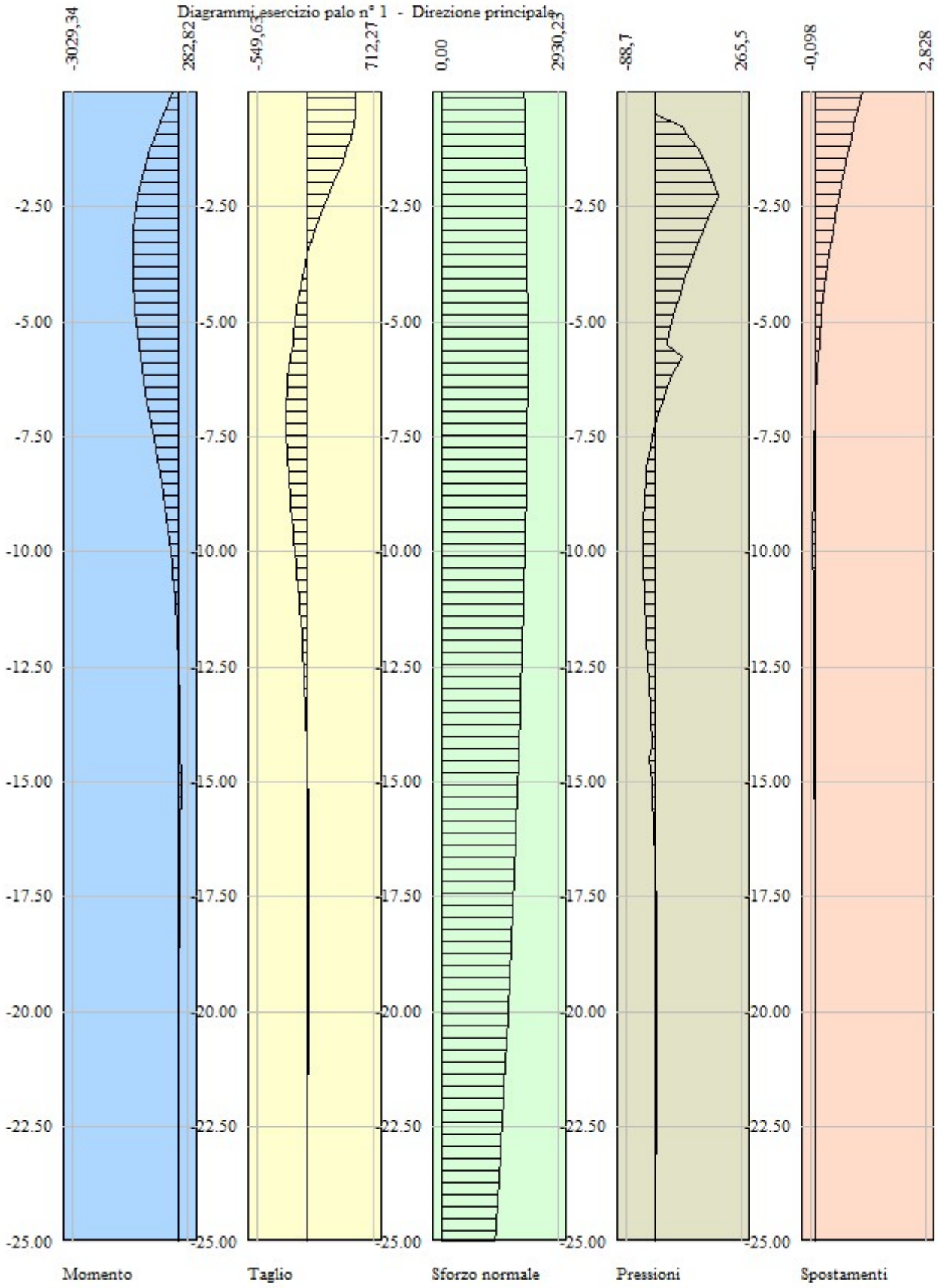
### 15.6.8 SPALLA B - COMBINAZIONE SLE – FREQUENTE




Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -1.080,60 kNm**.

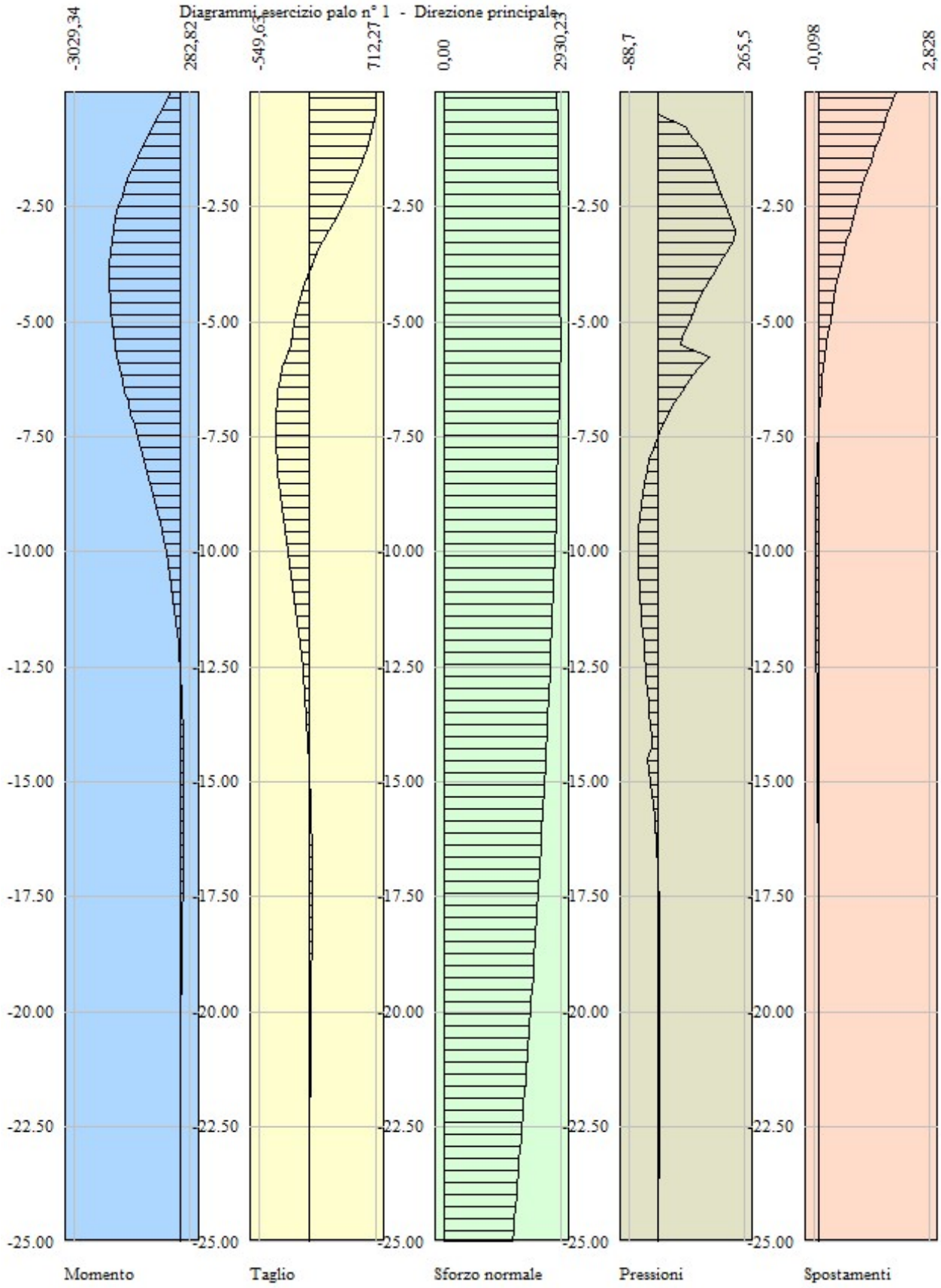
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 474,75 kN**.

### 15.6.9 SPALLA B - COMBINAZIONE SLE – RARA



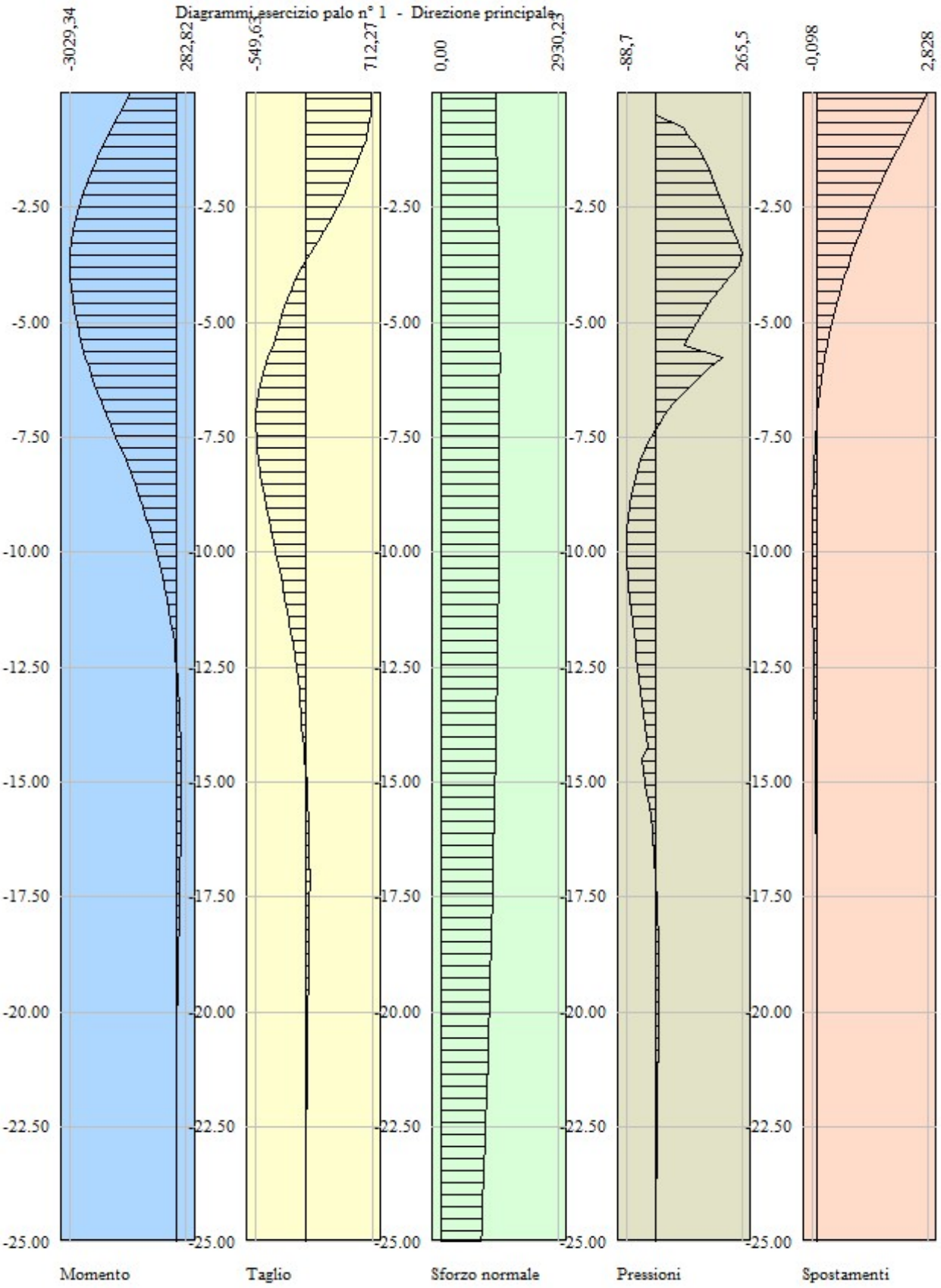

Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -1.317,37 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 523,05 kN**.

### 15.6.10 SPALLA B - COMBINAZIONE SLU – STR




Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -2.037,32 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 712,27 kN**.

### 15.6.11 SPALLA B - COMBINAZIONE SLV




Il momento flettente massimo di calcolo risulta pari a **$M_{Sd}$ = -3.029,34 kNm**.
L'azione tagliante massima di calcolo risulta pari a **$V_{Sd}$ = 699,84 kN**.

## 15.7 PALI DI FONDAZIONE - VERIFICHE STRUTTURALI

### 15.7.1 SEZIONE ED ARMATURA DI VERIFICA

La sezione di verifica è circolare con diametro pari a 120 cm.
L'armatura verticale (armatura di forza) è prevista come segue:

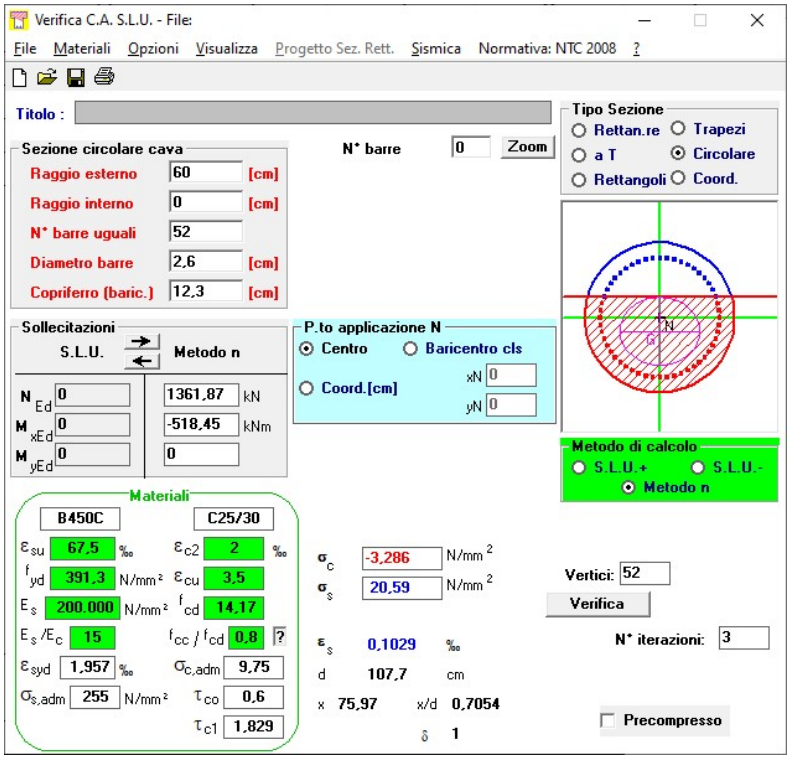
- 26Ø26 disposti a raggiera (gabbia esterna)
- 26Ø26 disposti a raggiera (gabbia interna)

L'armatura a taglio è costituita da una spirale Ø12/10.
Il copriferro netto minimo è assunto pari a 75 mm.
A favore di sicurezza nelle verifiche non sarà tenuto conto del peso del palo.

### 15.7.2 VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI

#### 15.7.2.1 Combinazione Quasi Permanente – Azione normale massima

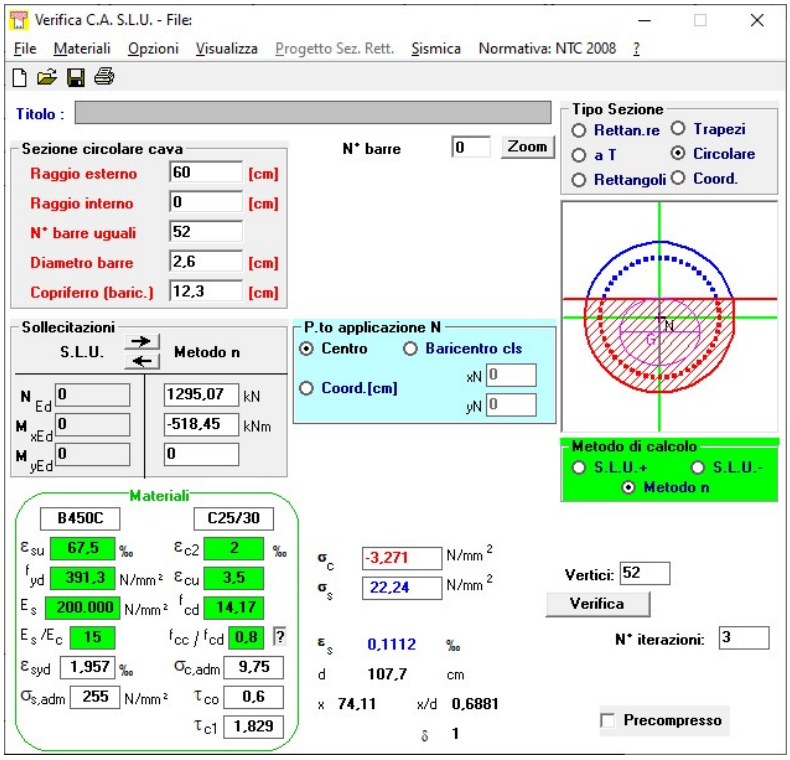
L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.361,87 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -518,45 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:
**$\sigma_c$ = 3,28 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 11,20 N/mm²**
**$\sigma_s$ = 20,59 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.2.2 Combinazione Quasi Permanente – Azione normale minima

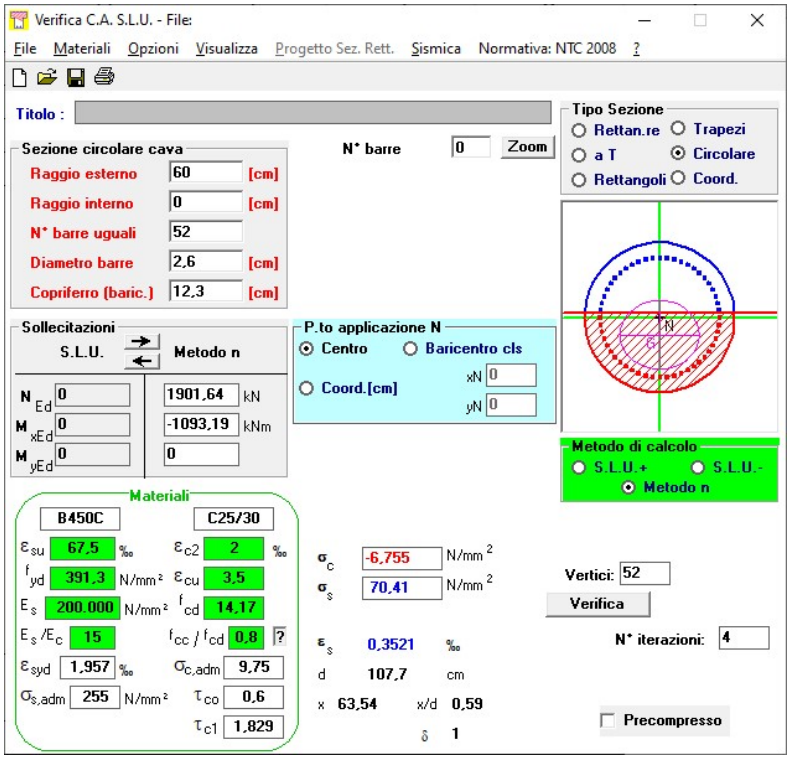
L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.295,07 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -518,45 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:
**$\sigma_c$ = 3,27 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 11,20 N/mm²**
**$\sigma_s$ = 22,24 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.2.3 Combinazione Frequente – Azione normale massima

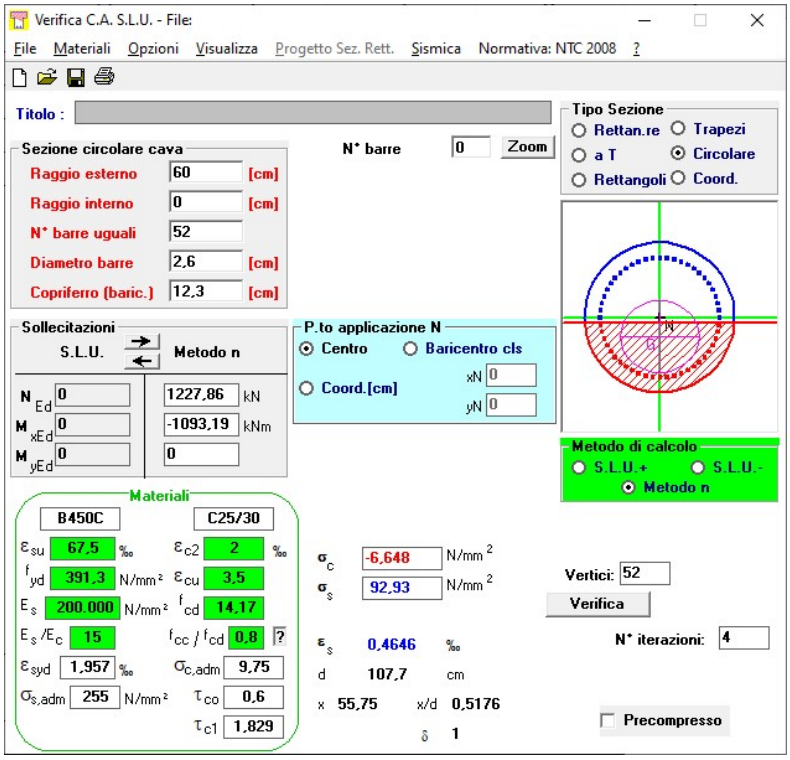
L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.901,64 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -1.093,19 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:
**$\sigma_c$ = 6,75 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 11,20 N/mm²**
**$\sigma_s$ = 70,41 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.2.4 Combinazione Frequente – Azione normale minima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.227,86 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -1.093,19 kNm**.

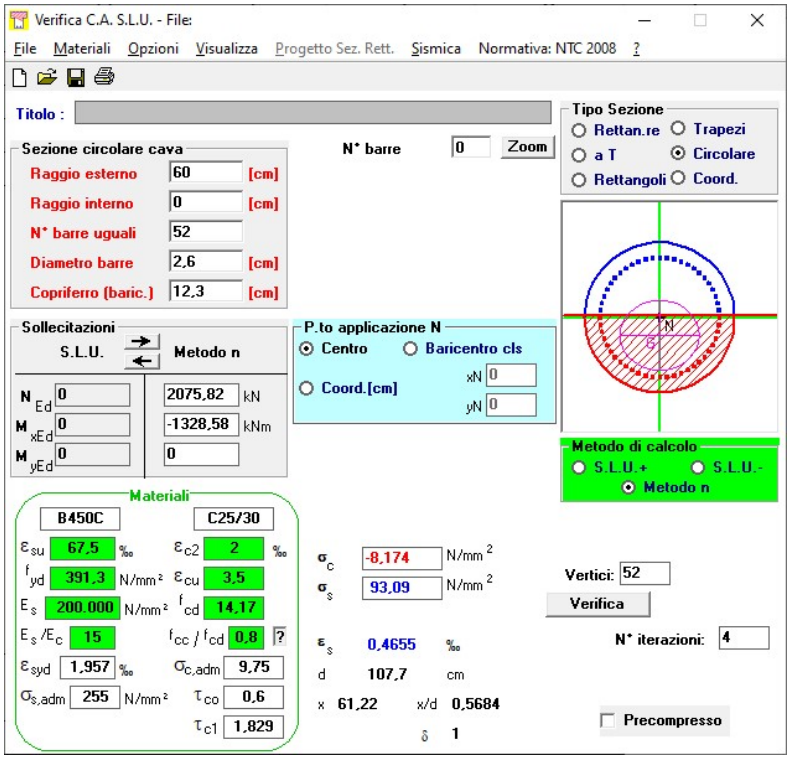



Le tensioni sui materiali risultano pari a:
**$\sigma_c$ = 6,64 N/mm² < 0,45 $f_{ck}$ = 11,20 N/mm²**
**$\sigma_s$ = 92,93 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.2.5 Combinazione Caratteristica – Azione normale massima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 2.075,82 kN**.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -1.328,58 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:

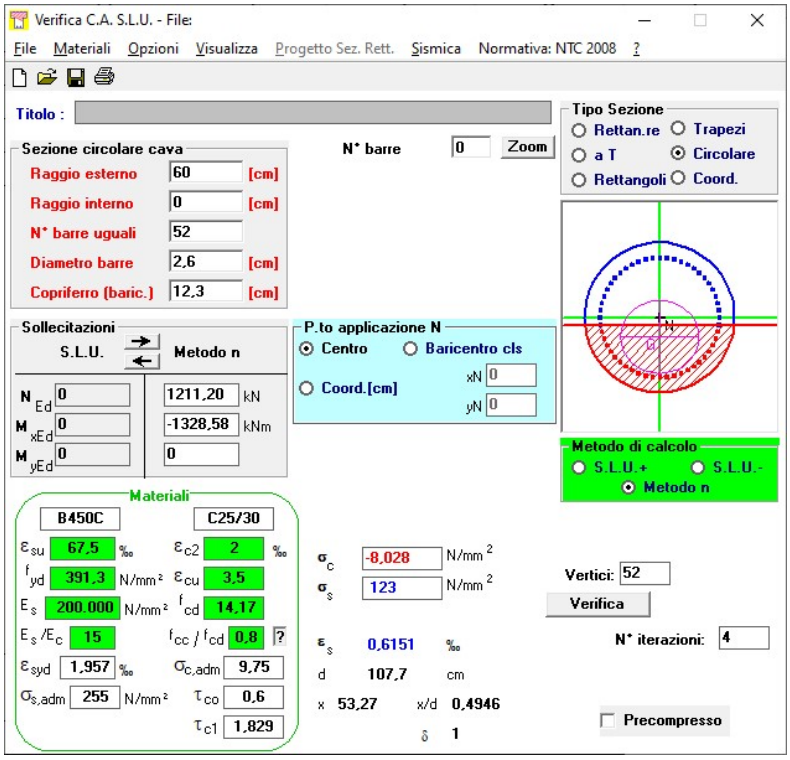
**$\sigma_c$ = 8,17 N/mm² < 0,60 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**

**$\sigma_s$ = 93,09 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.2.6 Combinazione Caratteristica – Azione normale minima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.211,20 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -1.328,58 kNm**.




Le tensioni sui materiali risultano pari a:
**$\sigma_c$ = 8,02 N/mm² < 0,60 $f_{ck}$ = 14,94 N/mm²**
**$\sigma_s$ = 123,00 N/mm² < 0,80 $f_{yk}$ = 360,00 N/mm²**
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.3 VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

#### 15.7.3.1 Combinazione allo SLE – Quasi Permanente – Azione normale massima

| Dati | Verica fessurazione sezione circolare CIRCOLARE 2/02/2009 N°617 Par.C.4.1.2.2.4.6 | |
|---|---|---|
| $\vartheta_s$ | 21 N/mm² | *Tensione massima armatura tesa sezione fessurata* |
| Rck | 30,0 N/mm² | *Resistenza caratteristica cubica cls* |
| $\phi_l$ | 26 mm | *Diametro barre longitudinali* |
| $\phi_s$ | 12 mm | *Diametro staffe o spirale* |
| n | 52 | *Numero ferri longitudinali* |
| c | 75 mm | *Ricoprimento del calcestruzzo* |
| D | 1200 mm | *Diametro* |
| $k_t$ | 0,4 | *kt=0,6 ;0,4 carichi breve durata/lunga durata* |
| $k_2$ | 0,5 | *k2=0,5 ;1,0 caso flessione/trazione semplice* |
| $k_1$ | 0,8 | *k1=0,8 ;1,6 barre aderenza migliorata/lisce* |
| w | 0,2 mm | *Valore limite apertura fessure* |
| **Dati** | | |
| fck | 24,9 N/mm² | *Resistenza caratteristica cilindrica cls* |
| i | 60 mm | *Interasse ferri longitudinali* |
| $A_\phi$ | 531 mm² | *Area barra longitudinale* |
| $E_s$ | 210000,0 N/mm² | *Modulo elastico acciaio da c.a* |
| $f_{ctm}$ | 2,6 N/mm² | *Resistenza a trazione media cls* |
| $E_{cm}$ | 31447,2 N/mm² | *Modulo elastico medio cls* |
| $\alpha_e$ | 6,68 | *Rapporto Es/Ecm* |
| $f_{cm}$ | 32,9 N/mm² | *Resistenza media cls* |
| $\rho_{eff}$ | 0,0499 | *Rapporto area acciaio/area efficace* |
| $\varepsilon_{sm1}$ | -0,000032 | *Deformazione unitaria media barre di calcolo* |
| $\varepsilon_{sm2}$ | 0,000059 | *Deformazione unitaria media barre valore minimo* |
| $\varepsilon_{sm}$ | 0,000059 | *Deformazione unitaria media* |
| $k_3$ | 3,4 | *Coefficiente* |
| k4 | 0,4 | *Coefficiente* |
| Δsmax | 343,5 mm | *Distanza massima tra le fessure* |
| $w_d$ | ✓ 0,020 mm | *Valore di calcolo apertura fessure* |

### 15.7.3.2 Combinazione allo SLE – Quasi Permanente – Azione normale minima

| Dati | Verica fessurazione sezione circolare CIRCOLARE 2/02/2009 N°617 Par.C.4.1.2.2.4.6 | |
|---|---|---|
| $\vartheta_s$ | 22 N/mm² | *Tensione massima armatura tesa sezione fessurata* |
| Rck | 30,0 N/mm² | *Resistenza caratteristica cubica cls* |
| $\phi_l$ | 26 mm | *Diametro barre longitudinali* |
| $\phi_s$ | 12 mm | *Diametro staffe o spirale* |
| n | 52 | *Numero ferri longitudinali* |
| c | 75 mm | *Ricoprimento del calcestruzzo* |
| D | 1200 mm | *Diametro* |
| $k_t$ | 0,4 | *kt=0,6 ;0,4 carichi breve durata/lunga durata* |
| $k_2$ | 0,5 | *k2=0,5 ;1,0 caso flessione/trazione semplice* |
| $k_1$ | 0,8 | *k1=0,8 ;1,6 barre aderenza migliorata/lisce* |
| w | 0,2 mm | *Valore limite apertura fessure* |
| **Dati** | | |
| fck | 24,9 N/mm² | *Resistenza caratteristica cilindrica cls* |
| i | 60 mm | *Interasse ferri longitudinali* |
| $A_\phi$ | 531 mm² | *Area barra longitudinale* |
| $E_s$ | 210000,0 N/mm² | *Modulo elastico acciaio da c.a* |
| $f_{ctm}$ | 2,6 N/mm² | *Resistenza a trazione media cls* |
| $E_{cm}$ | 31447,2 N/mm² | *Modulo elastico medio cls* |
| $\alpha_e$ | 6,68 | *Rapporto Es/Ecm* |
| $f_{cm}$ | 32,9 N/mm² | *Resistenza media cls* |
| $\rho_{eff}$ | 0,0499 | *Rapporto area acciaio/area efficace* |
| $\varepsilon_{sm1}$ | -0,000024 | *Deformazione unitaria media barre di calcolo* |
| $\varepsilon_{sm2}$ | 0,000064 | *Deformazione unitaria media barre valore minimo* |
| $\varepsilon_{sm}$ | 0,000064 | *Deformazione unitaria media* |
| $k_3$ | 3,4 | *Coefficiente* |
| k4 | 0,4 | *Coefficiente* |
| Δsmax | 343,5 mm | *Distanza massima tra le fessure* |
| $w_d$ | ✓ 0,022 mm | *Valore di calcolo apertura fessure* |

### 15.7.3.3 Combinazione allo SLE – Frequente – Azione normale massima

| Dati | Verica fessurazione sezione circolare CIRCOLARE 2/02/2009 N°617 Par.C.4.1.2.2.4.6 | |
|---|---|---|
| $\vartheta_s$ | 70 N/mm² | *Tensione massima armatura tesa sezione fessurata* |
| Rck | 30,0 N/mm² | *Resistenza caratteristica cubica cls* |
| $\phi_l$ | 26 mm | *Diametro barre longitudinali* |
| $\phi_s$ | 12 mm | *Diametro staffe o spirale* |
| n | 52 | *Numero ferri longitudinali* |
| c | 75 mm | *Ricoprimento del calcestruzzo* |
| D | 1200 mm | *Diametro* |
| $k_t$ | 0,4 | *kt=0,6 ;0,4 carichi breve durata/lunga durata* |
| $k_2$ | 0,5 | *k2=0,5 ;1,0 caso flessione/trazione semplice* |
| $k_1$ | 0,8 | *k1=0,8 ;1,6 barre aderenza migliorata/lisce* |
| w | 0,3 mm | *Valore limite apertura fessure* |
| **Dati** | | |
| fck | 24,9 N/mm² | *Resistenza caratteristica cilindrica cls* |
| i | 60 mm | *Interasse ferri longitudinali* |
| $A_\phi$ | 531 mm² | *Area barra longitudinale* |
| $E_s$ | 210000,0 N/mm² | *Modulo elastico acciaio da c.a* |
| $f_{ctm}$ | 2,6 N/mm² | *Resistenza a trazione media cls* |
| $E_{cm}$ | 31447,2 N/mm² | *Modulo elastico medio cls* |
| $\alpha_e$ | 6,68 | *Rapporto Es/Ecm* |
| $f_{cm}$ | 32,9 N/mm² | *Resistenza media cls* |
| $\rho_{eff}$ | 0,0499 | *Rapporto area acciaio/area efficace* |
| $\varepsilon_{sm1}$ | 0,000205 | *Deformazione unitaria media barre di calcolo* |
| $\varepsilon_{sm2}$ | 0,000201 | *Deformazione unitaria media barre valore minimo* |
| $\varepsilon_{sm}$ | 0,000205 | *Deformazione unitaria media* |
| $k_3$ | 3,4 | *Coefficiente* |
| k4 | 0,4 | *Coefficiente* |
| Δsmax | 343,5 mm | *Distanza massima tra le fessure* |
| $w_d$ | ✓ 0,070 mm | *Valore di calcolo apertura fessure* |

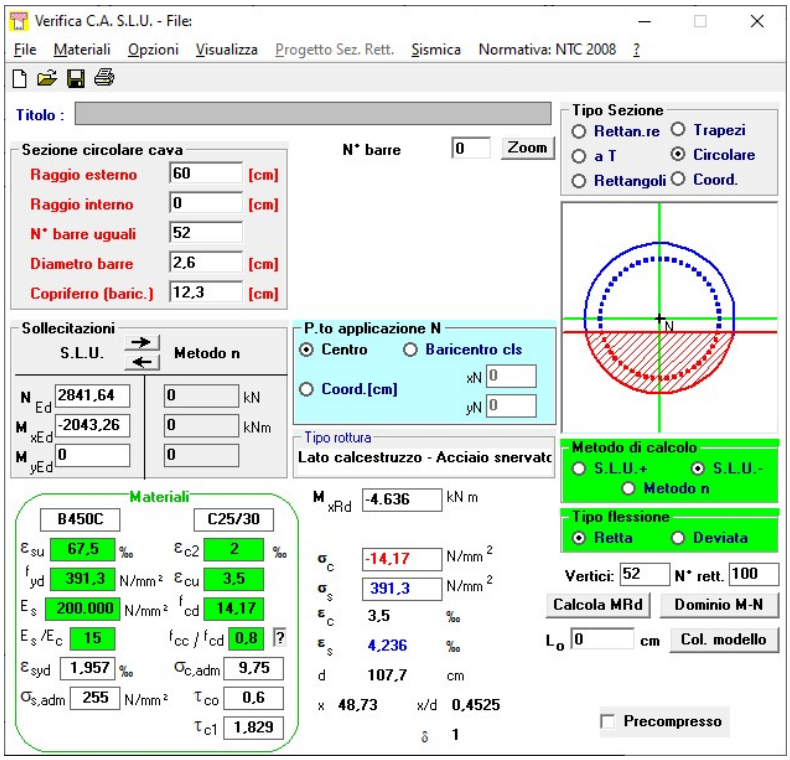
### 15.7.3.4 Combinazione allo SLE – Frequente – Azione normale minima

| Dati | Verica fessurazione sezione circolare CIRCOLARE 2/02/2009 N°617 Par.C.4.1.2.2.4.6 | |
|---|---|---|
| $\vartheta_s$ | 93 N/mm² | *Tensione massima armatura tesa sezione fessurata* |
| Rck | 30,0 N/mm² | *Resistenza caratteristica cubica cls* |
| $\phi_l$ | 26 mm | *Diametro barre longitudinali* |
| $\phi_s$ | 12 mm | *Diametro staffe o spirale* |
| n | 52 | *Numero ferri longitudinali* |
| c | 75 mm | *Ricoprimento del calcestruzzo* |
| D | 1200 mm | *Diametro* |
| $k_t$ | 0,4 | *kt=0,6 ;0,4 carichi breve durata/lunga durata* |
| $k_2$ | 0,5 | *k2=0,5 ;1,0 caso flessione/trazione semplice* |
| $k_1$ | 0,8 | *k1=0,8 ;1,6 barre aderenza migliorata/lisce* |
| w | 0,3 mm | *Valore limite apertura fessure* |
| **Dati** | | |
| fck | 24,9 N/mm² | *Resistenza caratteristica cilindrica cls* |
| i | 60 mm | *Interasse ferri longitudinali* |
| $A_\phi$ | 531 mm² | *Area barra longitudinale* |
| $E_s$ | 210000,0 N/mm² | *Modulo elastico acciaio da c.a* |
| $f_{ctm}$ | 2,6 N/mm² | *Resistenza a trazione media cls* |
| $E_{cm}$ | 31447,2 N/mm² | *Modulo elastico medio cls* |
| $\alpha_e$ | 6,68 | *Rapporto Es/Ecm* |
| $f_{cm}$ | 32,9 N/mm² | *Resistenza media cls* |
| $\rho_{eff}$ | 0,0499 | *Rapporto area acciaio/area efficace* |
| $\varepsilon_{sm1}$ | 0,000312 | *Deformazione unitaria media barre di calcolo* |
| $\varepsilon_{sm2}$ | 0,000266 | *Deformazione unitaria media barre valore minimo* |
| $\varepsilon_{sm}$ | 0,000312 | *Deformazione unitaria media* |
| $k_3$ | 3,4 | *Coefficiente* |
| k4 | 0,4 | *Coefficiente* |
| Δsmax | 343,5 mm | *Distanza massima tra le fessure* |
| $w_d$ | ✓ 0,107 mm | *Valore di calcolo apertura fessure* |

## 15.7.4 VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE

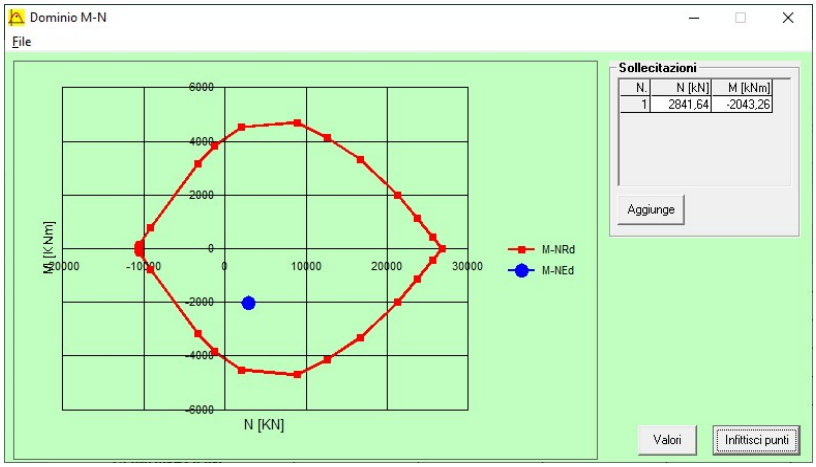
### 15.7.4.1 Condizione statica – Azione normale massima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 2.841,64 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -2.043,26 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:
**$M_{Rd}$ = -4.636,00 kNm > $M_{Sd}$ = -2.043,26 kNm**

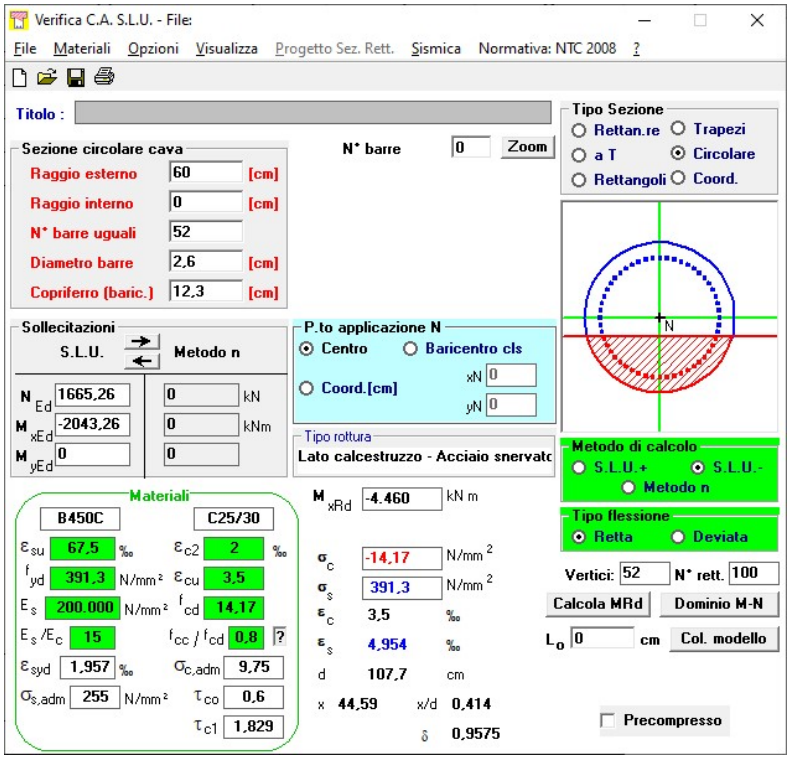
Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta pertanto soddisfatta.

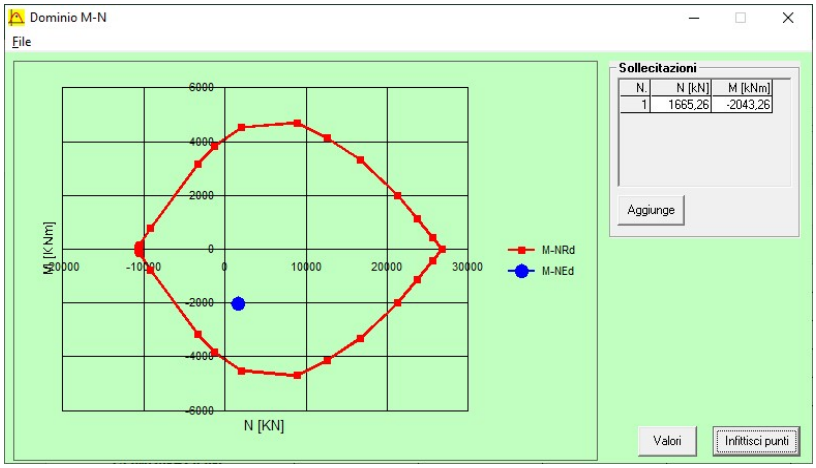
### 15.7.4.2 Condizione statica – Azione normale minima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.665,26 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -2.043,26 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:
**$M_{Rd}$ = -4.460,00 kNm > $M_{Sd}$ = -2.043,26 kNm**

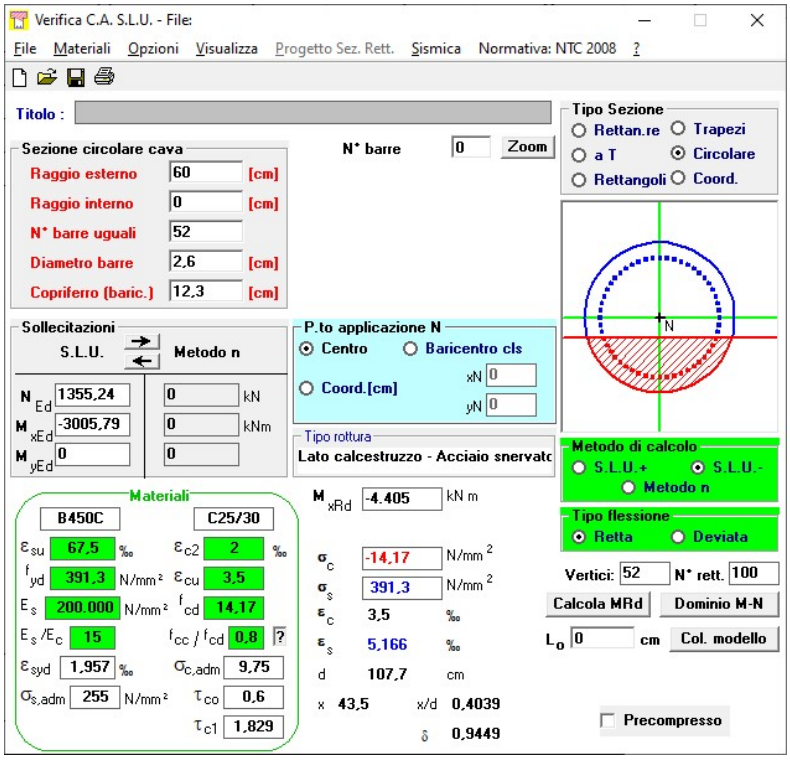
Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta pertanto soddisfatta.

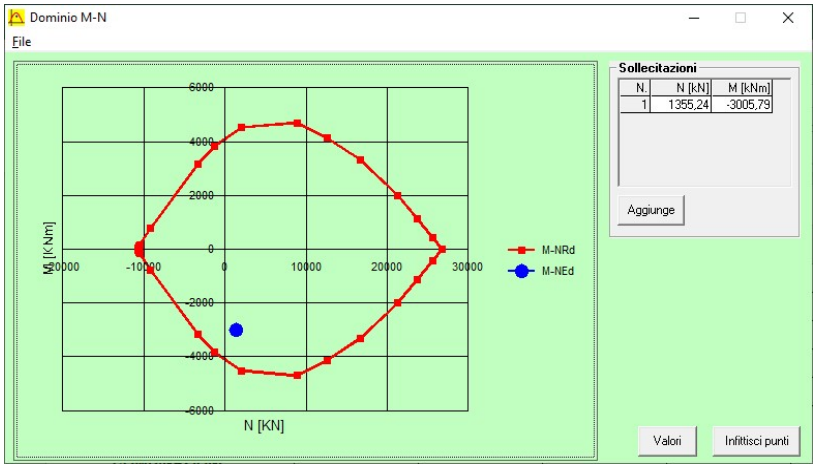
### 15.7.4.3 Condizione sismica – Azione normale massima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.355,24 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -3.005,79 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:
**$M_{Rd}$ = -4.405,00 kNm > $M_{Sd}$ = -3.005,79 kNm**

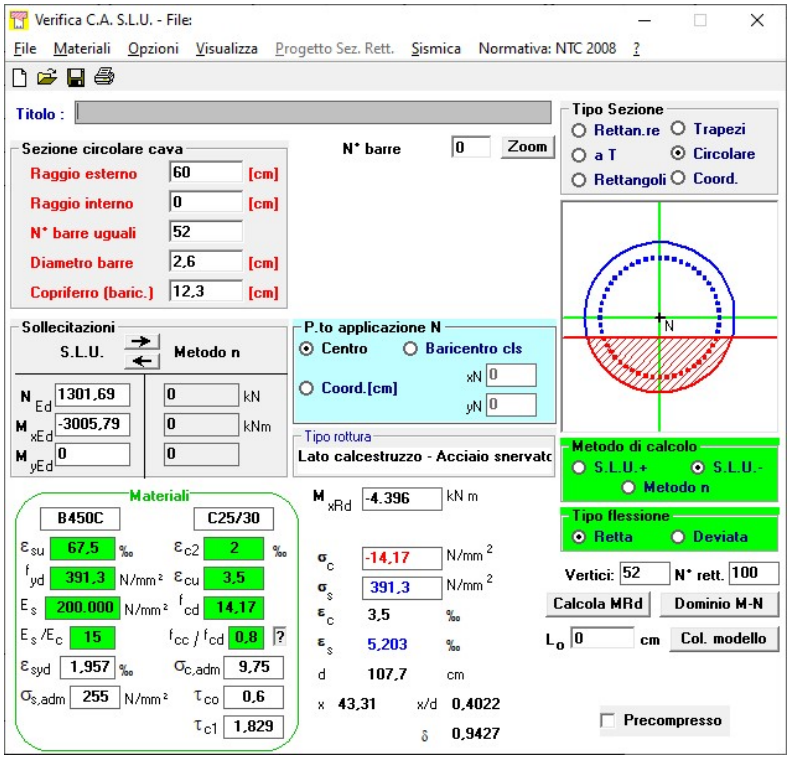
Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta pertanto soddisfatta.

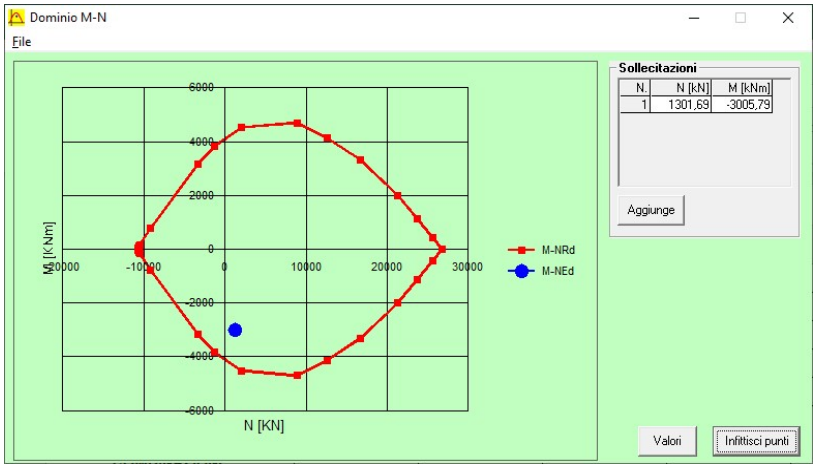
### 15.7.4.4 Condizione sismica – Azione normale minima

L'azione normale di calcolo è assunta pari a **$N_{Sd}$ = 1.301,69 kN**.
Il momento flettente di calcolo è assunto pari a **$M_{Sd}$ = -3.005,79 kNm**.




Il momento resistente risulta pari a:
**$M_{Rd}$ = -4.396,00 kNm > $M_{Sd}$ = -3.005,79 kNm**

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:




La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 15.7.5 VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $\mathbf{V_{Sd}}$ **= 712,27 kN**.

A favore di sicurezza non viene considerato il contributo dell'azione normale.

La verifica viene condotta su una sezione quadrata equivalente di lato pari a **106,35 cm** (equivalenza d'area).

**VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO**
**D.M. 17.01.2018 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2**

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Base della zezione trasversale: | b | 106,35 | [cm] |
| Altezza della sezione trasversale: | h | 106,35 | [cm] |
| Copriferro netto: | c | 7,50 | [cm] |
| Altezza utile della sezione: | d | 98,85 | [cm] |

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Classe di resistenza del calcestruzzo: | | C25/30 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione: | $R_{ck}$ | 30,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: | $f_{ck}$ | 24,90 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo a compressione: | $f_{cd}$ | 14,11 | [N/mm$^2$] |
| Tipologia dell'acciaio da armatura: | | B450C | |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk}$ | 540,00 | [N/mm$^2$] |
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk}$ | 450,00 | [N/mm$^2$] |
| Resistenza di calcolo: | $f_{yd}$ | 391,30 | [N/mm$^2$] |

**AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Azione tagliante di calcolo: | $V_{S,d}$ | 712,27 | [kN] |
| Azione normale di calcolo: | $N_{S,d}$ | 0,00 | [kN] |

**ARMATURA TRASVERSALE**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo: | θ | 45,00 | [°] |
| Cotangente dell'angolo θ: | cot(θ) | 1,00 | |
| Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: | α | 90,00 | [°] |
| Numero di bracci dell'armatura trasversale: | n | 2,00 | |
| Passo longitudinale delle armature trasversali: | s | 10,00 | [cm] |
| Diametro dell'armatura trasversale: | $Ø_{trasv}$ | 12,00 | [mm] |
| Area della singola barra: | $A_{barra}$ | 1,13 | [cm$^2$] |
| Area totale dell'armatura trasversale: | $A_{tot}$ | 22,60 | [cm$^2$/m] |

**VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO**

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot sen(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{[\cot(\alpha) + \cot(\theta)]}{[1 + \cot^2(\theta)]}$$

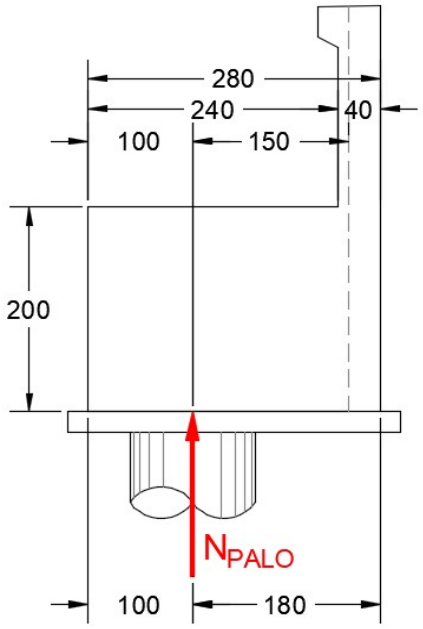
| | | | |
|---|---|---|---|
| Larghezza minima della sezione: | $b_w$ | 106,35 | [cm] |
| Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo: | $f'_{yd}$ | 7,06 | [N/mm$^2$] |
| Tensione media di compressione nella sezione: | $\sigma_{cp}$ | 0,00 | [N/mm$^2$] |
| Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$: | $\alpha_c$ | 1,00 | |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" | $V_{Rsd}$ | 786,76 | [kN] |
| RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE" | $V_{Rcd}$ | 3337,52 | [kN] |
| **AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:** | $V_{R,d}$ | 786,76 | **[kN]** |
| **COEFFICIENTE DI SICUREZZA:** | $F_S=V_{R,d}/V_{S,d}$ | 1,10 | |

LA VERIFICA RISULTA POSITIVA.

## 15.8 TRAVE A CUSCINO – VERIFICHE STRUTTURALI IN DIREZIONE TRASVERSALE

La verifica trave a cuscino in direzione trasversale è stata condotta con il metodo degli stati limite, calcolando la capacità ultima di resistenza dell'elemento strutturale rispetto ai principali meccanismi di collasso individuabili.

È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – piede di monte della zattera, la mensola da verificare è di tipo "tozzo". Pertanto, non può essere impiegata la "teoria della trave", ma è più opportuno adottare una schematizzazione a traliccio basata sull'ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a "tirante di acciaio" – "puntone di cls" che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all'interno dei materiali costituenti l'elemento.
Per la verifica della fondazione è necessario per prima cosa stabilire la larghezza di zattera di fondazione competente al singolo palo, da assumere per il meccanismo resistente a tirante-puntone. Questo valore si ottiene considerando l'interasse tra i pali di fondazione ed è pari a 360 cm.




Di seguito si assume quindi un sistema a tirante-puntone isolato dal resto del plinto e di larghezza pari a **3,60 m**, nel quale il tirante è costituito da **18Ø26** (Area: **95,57 cm²**).
La reazione normale massima trasmessa dal singolo palo di fondazione vale:

- SLE – QUASI PERMANENTE → **$N_{Sd}$ = 1.361,87 kN**
- SLE – FREQUENTE → **$N_{Sd}$ = 1.901,64 kN**
- SLE – RARA → **$N_{Sd}$ = 2.075,82 kN**
- SLU – STR → **$N_{Sd}$ = 2.841,64 kN**
- SLV → **$N_{Sd}$ = 1.355,24 kN**

Detta **h = 1,95 m** la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compresso superiore ed assumendo quale braccio **b** della mensola tozza, quello che va dal centro dei pali ad ¼ dello spessore del paraghiaia, e pertanto **b = 1,50 m**, si calcola la risultante ultima resistente sull'insieme dei pali di bordo in direzione trasversale, assumendo:

- **$\sigma_s$ = 360,00 N/mm²** (tensione limite definita per le verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio)
- **$f_{yd}$ = 391,30 N/mm²** (resistenza di calcolo dell'acciaio)

### 15.8.1 STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

La resistenza massima del tirante in acciaio vale:

$$T_{Rd} = A_s \cdot \sigma_s \cdot \frac{h}{d} = \left[(95{,}57 \cdot 10^2) \cdot 360{,}00 \cdot \frac{1{,}95}{1{,}50}\right] \cdot 10^{-3} = 4.472{,}68\ kN > N_{Sd} = 1.361{,}87\ kN$$

La tensione massima sul puntone compresso in calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{(0{,}2 \cdot h \cdot l) \cdot (sen(arctan(\frac{h}{b})))} = \frac{1.361{,}87 \cdot 10^3}{(0{,}2 \cdot 1{,}95 \cdot 3{,}60) \cdot 10^6 \cdot (sen(arctan(\frac{1{,}95}{1{,}50})))} = 1{,}22 \ \frac{N}{mm^2} < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 13{,}07 \ \frac{N}{mm^2}$$

### 15.8.2 STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONE FREQUENTE

La resistenza massima del tirante in acciaio vale:

$$T_{Rd} = A_s \cdot \sigma_s \cdot \frac{h}{d} = \left[(95{,}57 \cdot 10^2) \cdot 360{,}00 \cdot \frac{1{,}95}{1{,}50}\right] \cdot 10^{-3} = 4.472{,}68 \ kN > N_{Sd} = 1.901{,}64 \ kN$$

La tensione massima sul puntone compresso in calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{(0{,}2 \cdot h \cdot l) \cdot (sen(arctan(\frac{h}{b})))} = \frac{1.901{,}64 \cdot 10^3}{(0{,}2 \cdot 1{,}95 \cdot 3{,}60) \cdot 10^6 \cdot (sen(arctan(\frac{1{,}95}{1{,}50})))} = 1{,}71 \ \frac{N}{mm^2} < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 13{,}07 \ \frac{N}{mm^2}$$

### 15.8.3 STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONE RARA

La resistenza massima del tirante in acciaio vale:

$$T_{Rd} = A_s \cdot \sigma_s \cdot \frac{h}{d} = \left[(95{,}57 \cdot 10^2) \cdot 360{,}00 \cdot \frac{1{,}95}{1{,}50}\right] \cdot 10^{-3} = 4.472{,}68 \ kN > N_{Sd} = 2.075{,}82 \ kN$$

La tensione massima sul puntone compresso in calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{(0{,}2 \cdot h \cdot l) \cdot (sen(arctan(\frac{h}{b})))} = \frac{2.075{,}82 \cdot 10^3}{(0{,}2 \cdot 1{,}95 \cdot 3{,}60) \cdot 10^6 \cdot (sen(arctan(\frac{1{,}95}{1{,}50})))} = 1{,}87 \ \frac{N}{mm^2} < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 13{,}07 \ \frac{N}{mm^2}$$

### 15.8.4 STATO LIMITE ULTIMO – STR

La resistenza massima del tirante in acciaio vale:

$$T_{Rd} = A_s \cdot \sigma_s \cdot \frac{h}{d} = \left[(95{,}57 \cdot 10^2) \cdot 391{,}30 \cdot \frac{1{,}95}{1{,}50}\right] \cdot 10^{-3} = 4.861{,}55 \ kN > N_{Sd} = 2.841{,}64 \ kN$$

La tensione massima sul puntone compresso in calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{(0{,}2 \cdot h \cdot l) \cdot (sen(arctan(\frac{h}{b})))} = \frac{2.841{,}64 \cdot 10^3}{(0{,}2 \cdot 1{,}95 \cdot 3{,}60) \cdot 10^6 \cdot (sen(arctan(\frac{1{,}95}{1{,}50})))} = 2{,}55 \ \frac{N}{mm^2} < f_{cd} = 19{,}36 \ \frac{N}{mm^2}$$

### 15.8.5 STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

La resistenza massima del tirante in acciaio vale:

$$T_{Rd} = A_s \cdot \sigma_s \cdot \frac{h}{d} = \left[(95{,}57 \cdot 10^2) \cdot 391{,}30 \cdot \frac{1{,}95}{1{,}50}\right] \cdot 10^{-3} = 4.861{,}55 \ kN > N_{Sd} = 1.355{,}24 \ kN$$

La tensione massima sul puntone compresso in calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{(0{,}2 \cdot h \cdot l) \cdot (sen(arctan(\frac{h}{b})))} = \frac{1.355{,}24 \cdot 10^3}{(0{,}2 \cdot 1{,}95 \cdot 3{,}60) \cdot 10^6 \cdot (sen(arctan(\frac{1{,}95}{1{,}50})))} = 1{,}22 \ \frac{N}{mm^2} < f_{cd} = 19{,}36 \ \frac{N}{mm^2}$$

# 16 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI DI FONDAZIONE

## 16.1 FORMULAZIONI ADOTTATE PER LA VERIFICA DEL CARICO LIMITE ULTIMO

La stima della capacità portante per carico verticale di un palo isolato $\mathbf{Q_{LIM}}$ mediante formule statiche è ottenuta valutando i massimi mobilizzabili, in condizioni di equilibrio limite, della resistenza laterale $\mathbf{Q_S}$ e di quella di punta $\mathbf{Q_P}$:

$$Q_{LIM} + W_P = Q_S + Q_P$$

essendo $\mathbf{W_P}$ il peso proprio del palo.

Si fanno le seguenti ipotesi:

- il carico limite del sistema palo – terreno è condizionato dalla resistenza del terreno e non da quella del palo;
- il palo è un corpo cilindrico rigido;
- i termini di capacità portante per attrito e/o aderenza laterale $\mathbf{Q_S}$ e di capacità portante di punta $\mathbf{Q_P}$ non si influenzano reciprocamente e possono essere determinati separatamente.

Stima della capacità portante laterale $Q_S$

La capacità portante per aderenza e/o per attrito laterale per un palo di diametro D e lunghezza L è per definizione:

$$Q_S = \pi \cdot D \cdot \int_0^L \tau_s \cdot dz$$

Si assume che le sovrappressioni interstiziali che si generano durante la messa in opera del palo si siano dissipate al momento di applicazione del carico e che pertanto la tensione tangenziale limite possa essere valutata, con riferimento alle tensioni efficaci, nel modo seguente:

$$\tau_s = \alpha \cdot c' + \sigma_h' \cdot \tan\delta = \alpha \cdot c' + K \cdot \sigma_{v0}' \cdot \tan\delta$$

in cui:

- α è il coefficiente di adesione determinato mediante la formula di Caquot – Kerisel:

$$\alpha = \frac{100 + c^2}{100 + 7 \cdot c^2}$$

- **c'** è la coesione efficace del terreno;
- **$\sigma'_h$** è la tensione efficace orizzontale nel terreno a contatto con il palo;
- **$\sigma'_{v0}$** è la tensione efficace verticale iniziale prima della messa in opera del palo;
- **K** è un coefficiente di spinta, rapporto fra **$\sigma'_h$** e **$\sigma'_{v0}$** → **$K = 1-\text{sen}(\varphi')$**
- **tan δ** è il coefficiente di attrito palo – terreno → **$\mu = \tan\delta = \tan(\varphi')$**

Stima della capacità portante di punta $Q_P$

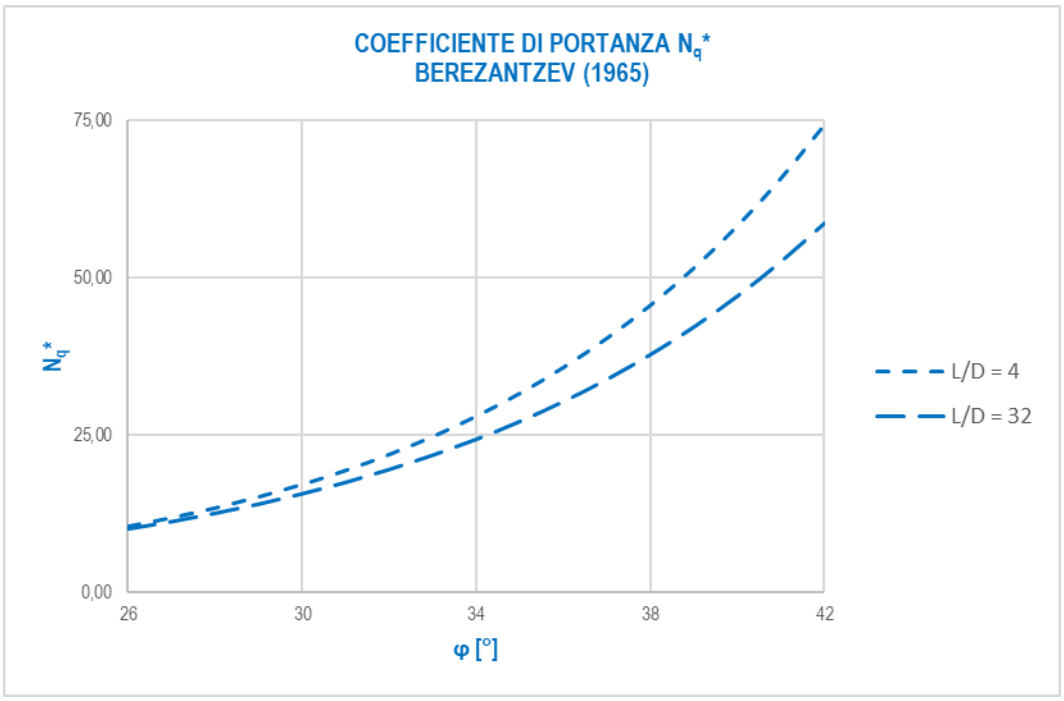
Per la stima della capacità portante di punta $\mathbf{Q_P}$ dei pali in terreni incoerenti è stimata con l'equazione:

$$Q_P = A_P \cdot q_P = A_P \cdot \sigma'_{v0,P} \cdot N_q$$

in cui:

- $A_P$ è l'area di base del palo;
- $q_P$ è la capacità portante unitaria;
- $\sigma'_{v0,P}$ è la tensione verticale efficace alla punta;
- $N_q$ è il fattore di capacità portante.

Il fattore di capacità portante $N_q$ è definito mediante il metodo si Berezantzev "ridotto" (1965), in funzione al valore dell'angolo di attrito del terreno in corrispondenza della base del palo e del rapporto tra lunghezza del palo **L** e diametro del palo **D**.
Il valore di $N_q^*$ è estrapolabile dal seguente abaco (per valori intermedi si procede mediante interpolazione lineare):




Considerato l'utilizzo del metodo di Berezantzev "ridotto" per i pali di grande diametro (cautelativo), non è stata presa in consderazione la correlazione di Kishida per i pali trivellati.

## 16.2 VERIFICHE DI PORTANZA VERTICALE (CARICO LIMITE ULTIMO) E LATERALE DEL PALO

Le verifiche geotecniche di carico limite ultimo e portanza laterale sono state condotte mediante il software CARL 12.0 (Aztec Informatica).

Le verifiche sono state condotte per le combinazioni allo Stato Limite Ultimo statiche e sismiche maggiormente gravose, considerando i seguenti carichi:

| COMBINAZIONE | $N_{Sd}$ [kN] | $M_{Sd}$ [kNm] | $v_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| SLU - STR | 3.990,11 | 189,35 | 776,01 |
| SLV | 1.784,81 | 488,43 | 764,53 |

Il peso proprio del palo è tenuto in conto in maniera automatica dal software di calcolo.

### 16.2.1 SPALLA A

**Richiami teorici**

Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il valore di calcolo della resistenza verticale del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.
La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:
$Q_T$ Portanza totale del palo;
$Q_P$ Portanza di base del palo;
$Q_L$ Portanza per attrito laterale del palo;
$W_P$ Peso proprio del palo.
Le due componenti $Q_P$ e $Q_L$ sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.
Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo $Q_A$ applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente $\gamma_b$ e $\gamma_s$.
I coefficienti $\gamma_b$ e $\gamma_s$ rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.
Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_p/\gamma_b + Q_l/\gamma_s - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_l/\gamma_s + W_P$$

*Capacità portante di punta*

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c\, N_c + q_b\, N_q)$$

dove $A_P$ è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, $q_b$ è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti $N_c$ e $N_q$ sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.
$N_c$ ed $N_q$ dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ($\phi$ e c).

*Capacità portante per attrito laterale*

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \mathrm{Int}(\tau_a) dS$$

dove $\tau_a$ è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \, tg \, \delta$$

dove $c_a$ è l'adesione palo-terreno, $\delta$ è l'angolo di attrito palo-terreno, e $\sigma_h$ è la tensione orizzontale alla generica profondità z. La tensione orizzontale $\sigma_h$ è legata alla pressione verticale $\sigma_v$ tramite il coefficiente di spinta $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con C il perimetro e con L la lunghezza del palo abbiamo:

$$Int^L(C(c_a + K_s\sigma_v \, tg \, \delta)dz)$$

## Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidezza elastica, $K_h$, espressa in $Kg/cm^2/cm$ che rappresenta la pressione (in $Kg/cm^2$) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate $K_h$ assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di $K_h$ è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di $K_h$ assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B \, z^{\,n}$$

Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidezza che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molle non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con $dy_e$ la lunghezza del tratto di influenza della molla, con D il diametro del palo la molla avrà una rigidezza pari a:

$$K_m = dy_e \;\; D \;\; K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esplicare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite pu=pu(z) dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi (c=cu, $\phi$=0) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12 cu. Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità z è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):

$$P_u = q \, K_{pq} + c \, K_{pc}$$

dove:
D diametro del palo
q pressione geostatica alla profondità z
c coesione alla profondità z
$K_{pq}$, $K_{pc}$ coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno $\phi$ e del rapporto z/D.
Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a 1,5D e poi valore costante pari a $9c_u$ D.
Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore $3\sigma_v K_p$ D (alla base) essendo $K_p$ il coefficiente di resistenza passiva espresso da $K_p=\tan^2(45° + \phi/2)$.

# Dati

## Geometria della fondazione

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| *Descr* | Descrizione del palo |
| *Frm* | Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato) |
| *X* | Ascissa del baricentro del palo espressa in [m] |
| *Y* | Ordinata del baricentro del palo espressa in [m] |
| *D* | Diametro del palo espresso in [cm] |
| *L* | Lunghezza del palo espressa in [m] |

| Descr | Frm | X | Y | D | L |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| Palo 120 | (C) | 0,00 | 0,00 | 120,00 | 25,00 |

## Materiali palo

*Calcestruzzo*

| | | |
|---|---|---|
| Tipo | C25/30 | |
| Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$ | 305,91 | [kg/cmq] |
| Peso specifico | 2500,00 | [kg/mc] |
| Modulo elastico | 320665,55 | [kg/cmq] |
| Coeff. di omogeneizzazione | 15,00 | |

*Acciaio*

| | | |
|---|---|---|
| Tipo | B450C | |
| Tensione caratteristica di snervamento | 4588,65 | [kg/cmq] |

### Coefficienti di sicurezza sui materiali

| | |
|---|---|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo | 1.50 |
| Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 1.15 |
| Coefficiente di sicurezza sezione | 1.00 |

## Caratteristiche pali

Pali in c.a.
Armatura con ferri longitudinali e staffe
Vincolo in testa di tipo CERNIERA
Tipo di palo TRIVELLATO
Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

## Descrizione terreni e falda

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| *Descrizione* | Descrizione terreno |
| $\gamma$ | Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc] |
| $\gamma_{sat}$ | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc] |
| $\phi$ | Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi |
| $\delta$ | Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi |
| $c$ | Coesione del terreno espressa in [kg/cmq] |
| $ca$ | Adesione del terreno espressa in [kg/cmq] |
| $\phi_{min}$, $\phi_{med}$ | Angolo di attrito interno del terreno minimo e medio espresso in gradi |
| $\delta_{min}$, $\delta_{med}$ | Angolo di attrito palo-terreno minimo e medio espresso in gradi |
| $c_{min}$, $c_{med}$ | Coesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq] |
| $ca_{min}$, $ca_{med}$ | Adesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq] |

**Parametri caratteristici**

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_{sat}$ | $\phi$ | $\delta$ | c | ca |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[kN/mc]* | *[kN/mc]* | *[°]* | *[°]* | *[kPa]* | *[kPa]* |
| a2g (superficie) | 18,500 | 19,970 | 17,90 | 17,90 | 0,4 | 0,4 |
| VLU3 (substrato) | 19,500 | 20,130 | 28,40 | 28,40 | 29,9 | 20,0 |
| a2g (base) | 18,500 | 19,970 | 31,90 | 31,90 | 25,9 | 18,7 |

**Parametri minimi**

| Descrizione | $\phi_{min}$ | $\delta_{min}$ | $c_{min}$ | $ca_{min}$ |
|---|---|---|---|---|
| | *[°]* | *[°]* | *[kPa]* | *[kPa]* |
| a2g (superficie) | 17,90 | 17,90 | 0,4 | 0,4 |
| VLU3 (substrato) | 28,40 | 28,40 | 29,9 | 20,0 |
| a2g (base) | 31,90 | 31,90 | 25,9 | 18,7 |

**Parametri medi**

| Descrizione | $\phi_{med}$ | $\delta_{med}$ | $c_{med}$ | $ca_{med}$ |
|---|---|---|---|---|
| | *[°]* | *[°]* | *[kPa]* | *[kPa]* |
| a2g (superficie) | 18,00 | 18,00 | 0,5 | 0,5 |
| VLU3 (substrato) | 28,50 | 28,50 | 30,0 | 20,1 |
| a2g (base) | 32,00 | 32,00 | 26,0 | 18,8 |

### Falda

Profondità dal piano di posa 1,10 [m]

## Descrizione stratigrafia

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| *N* | Identificativo strato |
| *Z1* | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m] |
| *Z2* | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m] |
| *Z3* | Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m] |
| *Terreno* | Terreno dello strato |
| *Kw* | Costante di Winkler espressa in Kg/cm$^2$/cm |
| *Ks* | Coefficiente di spinta |
| *α* | Coefficiente di espansione laterale |

| n° | Z1 | Z2 | Z3 | Terreno | Kw | Ks | α |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* | | *[kg/cmq/cm]* | | |
| 1 | -1,1 | -1,1 | -1,1 | a2g (superficie) | 0.94 | 0.69 | 1.00 |
| 2 | -4,6 | -4,6 | -7,3 | a2g (superficie) | 2.63 | 0.69 | 1.00 |
| 3 | -12,7 | -12,7 | -12,7 | a2g (base) | 7.78 | 0.47 | 1.00 |
| 4 | -25,0 | -25,0 | -25,0 | VLU3 (substrato) | 17.47 | 0.52 | 1.00 |

## Normativa

N.T.C. 2018 - Approccio 2

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| $\gamma_{Gsfav}$ | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti |
| $\gamma_{Gfav}$ | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti |
| $\gamma_{Qsfav}$ | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili |
| $\gamma_{Qfav}$ | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili |
| $\gamma_{tan\phi'}$ | Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato |
| $\gamma_{c'}$ | Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata |
| $\gamma_{cu}$ | Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata |
| $\gamma_{qu}$ | Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo |
| $\gamma_{\gamma}$ | Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce |

**Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:**

| | | | Statici | | Sismici | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carichi | Effetto | | A1 | A2 | A1 | A2 |
| Permanenti | Favorevole | $\gamma_{Gfav}$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | $\gamma_{Gsfav}$ | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{Qfav}$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Qsfav}$ | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 |

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:**

| | | Statici | | Sismici | |
|---|---|---|---|---|---|
| Parametri | | M1 | M2 | M1 | M2 |
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | $\gamma_{cu}$ | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$ | 1.00 | 1.60 | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | $\gamma_{\gamma}$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

## PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche dei pali

**Pali trivellati**

| | | R3 |
|---|---|---|
| Punta | $\gamma_b$ | 1.35 |
| Laterale compressione | $\gamma_s$ | 1.15 |
| Totale compressione | $\gamma_t$ | 1.30 |
| Laterale trazione | $\gamma_{st}$ | 1.25 |

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali $\gamma_T$ per le verifiche dei pali.

| | | R3 |
|---|---|---|
| | $\gamma_T$ | 1.30 |

Coefficienti di riduzione $\xi$ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali
Numero di verticali indagate 1 $\xi_3$=1.70 $\xi_4$=1.70

## Condizioni di carico

**Le condizioni di carico definite rappresentano le combinazioni di calcolo**

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| *fnd* | Indice della fondazione |
| $N_{TOT}$ | Sforzo normale totale espressa in [kg] |
| $My_{TOT}$ | Momento in direzione Y espresso in [kgm] |
| $T_{TOT}$ | Forza di taglio espressa in [kg] |

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - [ ]

| Fondazione | $N_{TOT}$ | $My_{TOT}$ | $Tx_{TOT}$ |
|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* |
| Palo 120 | 2841,640 | 249,180 | 712,270 |

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - [ ]

| Fondazione | $N_{TOT}$ | $My_{TOT}$ | $Tx_{TOT}$ |
|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* |
| Palo 120 | 1355,240 | 1301,690 | 699,840 |

## Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| $\gamma$ | Coefficiente di partecipazione della condizione |
| $\Psi$ | Coefficiente di combinazione della condizione |

Combinazione n° 1 - STR - A1-M1-R3

| Cond | $\gamma$ | $\Psi$ |
|---|---|---|
| Condizione n° 1 | 1.00 | 1.00 |

Combinazione n° 2 - SLV - A1-M1-R3

| Cond | $\gamma$ | $\Psi$ |
|---|---|---|
| Condizione n° 2 | 1.00 | 1.00 |

## Opzioni di calcolo

**Analisi in condizioni drenate**

### *Verifica della portanza assiale*

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Berezantzev ridotto.
L'andamento della pressione verticale $\sigma_v$ con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

### *Verifica della portanza trasversale*

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO
Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Pressione passiva con moltiplicatore = 3.00)

# Risultati

## Verifica della portanza assiale

*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione
Nc, Nq Fattori di capacità portante
$Pl_{min}$, $Pl_{med}$ Portanza laterale minima e media espressa in [kg]
$Pp_{min}$, $Pp_{med}$ Portanza di punta minima e media espressa in [kg]
Pd Portanza di progetto espressa in [kg]
N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]
η Coeff. di sicurezza per carichi verticali

| cmb | Nc | Nq |
|---|---|---|
| 1 | 23.23 | 13.61 |
| 2 | 23.23 | 13.61 |

| cmb | $Pl_{med}$ | $Pp_{med}$ | $Pl_{min}$ | $Pp_{min}$ | Wp | Pd | N | η |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | |
| 1 | 5164,27 | 4870,80 | 5139,69 | 4815,96 | 693,20 | 4034,25 | 2841,64 | **1.420** |
| 2 | 5164,27 | 4870,80 | 5139,69 | 4815,96 | 693,20 | 4034,25 | 1355,24 | **2.977** |

## Verifica della portanza trasversale

*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione
Tu Taglio resistente ultimo in testa al palo, espresso in [kg]
Tx Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]
η=Tu/Tx Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

| cmb | Tu | T | η |
|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kN]* | |
| 1 | 1239,38 | 712,27 | **1,740** |
| 2 | 958,29 | 699,84 | **1,369** |

## Spostamenti e pressioni

*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo
Y ordinata palo espressa in [cm]
Ue spostamento espresso in [cm]
Pe pressione espressa in [kg/cmq]

### Combinazione n° 1

| n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 1 | 0,00 | 1,9351 | 0,0 | 2 | 0,25 | 1,8290 | 26,2 | 3 | 0,50 | 1,7237 | 52,4 |
| 4 | 0,75 | 1,6196 | 78,6 | 5 | 1,00 | 1,5170 | 104,8 | 6 | 1,25 | 1,4162 | 123,9 |
| 7 | 1,50 | 1,3176 | 138,3 | 8 | 1,75 | 1,2214 | 152,6 | 9 | 2,00 | 1,1280 | 167,0 |
| 10 | 2,25 | 1,0375 | 181,4 | 11 | 2,50 | 0,9501 | 195,8 | 12 | 2,75 | 0,8662 | 210,2 |
| 13 | 3,00 | 0,7858 | 202,7 | 14 | 3,25 | 0,7090 | 182,9 | 15 | 3,50 | 0,6361 | 164,1 |
| 16 | 3,75 | 0,5670 | 146,2 | 17 | 4,00 | 0,5019 | 129,4 | 18 | 4,25 | 0,4407 | 113,7 |
| 19 | 4,50 | 0,3836 | 98,9 | 20 | 4,75 | 0,3304 | 252,1 | 21 | 5,00 | 0,2811 | 214,5 |
| 22 | 5,25 | 0,2358 | 179,9 | 23 | 5,50 | 0,1944 | 148,3 | 24 | 5,75 | 0,1567 | 119,5 |
| 25 | 6,00 | 0,1225 | 93,5 | 26 | 6,25 | 0,0918 | 70,1 | 27 | 6,50 | 0,0645 | 49,2 |
| 28 | 6,75 | 0,0402 | 30,7 | 29 | 7,00 | 0,0189 | 14,4 | 30 | 7,25 | 0,0003 | 0,2 |
| 31 | 7,50 | -0,0157 | -11,9 | 32 | 7,75 | -0,0293 | -22,3 | 33 | 8,00 | -0,0406 | -31,0 |
| 34 | 8,25 | -0,0500 | -38,2 | 35 | 8,50 | -0,0575 | -43,9 | 36 | 8,75 | -0,0633 | -48,3 |
| 37 | 9,00 | -0,0677 | -51,6 | 38 | 9,25 | -0,0706 | -53,9 | 39 | 9,50 | -0,0724 | -55,2 |
| 40 | 9,75 | -0,0730 | -55,7 | 41 | 10,00 | -0,0728 | -55,5 | 42 | 10,25 | -0,0717 | -54,7 |
| 43 | 10,50 | -0,0700 | -53,4 | 44 | 10,75 | -0,0676 | -51,6 | 45 | 11,00 | -0,0648 | -49,4 |
| 46 | 11,25 | -0,0616 | -47,0 | 47 | 11,50 | -0,0581 | -44,3 | 48 | 11,75 | -0,0543 | -41,5 |
| 49 | 12,00 | -0,0504 | -38,5 | 50 | 12,25 | -0,0465 | -35,5 | 51 | 12,50 | -0,0425 | -32,4 |
| 52 | 12,75 | -0,0385 | -66,0 | 53 | 13,00 | -0,0347 | -59,4 | 54 | 13,25 | -0,0309 | -53,0 |
| 55 | 13,50 | -0,0273 | -46,8 | 56 | 13,75 | -0,0239 | -41,0 | 57 | 14,00 | -0,0208 | -35,6 |
| 58 | 14,25 | -0,0178 | -30,5 | 59 | 14,50 | -0,0150 | -25,8 | 60 | 14,75 | -0,0125 | -21,5 |
| 61 | 15,00 | -0,0102 | -17,6 | 62 | 15,25 | -0,0082 | -14,0 | 63 | 15,50 | -0,0063 | -10,9 |
| 64 | 15,75 | -0,0047 | -8,0 | 65 | 16,00 | -0,0033 | -5,6 | 66 | 16,25 | -0,0020 | -3,4 |
| 67 | 16,50 | -0,0009 | -1,6 | 68 | 16,75 | 0,0000 | 0,0 | 69 | 17,00 | 0,0008 | 1,3 |
| 70 | 17,25 | 0,0014 | 2,4 | 71 | 17,50 | 0,0019 | 3,3 | 72 | 17,75 | 0,0023 | 4,0 |
| 73 | 18,00 | 0,0026 | 4,5 | 74 | 18,25 | 0,0029 | 4,9 | 75 | 18,50 | 0,0030 | 5,1 |
| 76 | 18,75 | 0,0031 | 5,3 | 77 | 19,00 | 0,0031 | 5,3 | 78 | 19,25 | 0,0031 | 5,3 |
| 79 | 19,50 | 0,0030 | 5,2 | 80 | 19,75 | 0,0029 | 5,0 | 81 | 20,00 | 0,0028 | 4,8 |
| 82 | 20,25 | 0,0027 | 4,6 | 83 | 20,50 | 0,0025 | 4,3 | 84 | 20,75 | 0,0023 | 4,0 |
| 85 | 21,00 | 0,0021 | 3,7 | 86 | 21,25 | 0,0020 | 3,4 | 87 | 21,50 | 0,0018 | 3,0 |
| 88 | 21,75 | 0,0016 | 2,7 | 89 | 22,00 | 0,0014 | 2,4 | 90 | 22,25 | 0,0012 | 2,1 |
| 91 | 22,50 | 0,0010 | 1,7 | 92 | 22,75 | 0,0008 | 1,4 | 93 | 23,00 | 0,0006 | 1,1 |
| 94 | 23,25 | 0,0005 | 0,8 | 95 | 23,50 | 0,0003 | 0,5 | 96 | 23,75 | 0,0001 | 0,2 |

| n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 97 | 24,00 | -0,0001 | -0,1 | 98 | 24,25 | -0,0002 | -0,4 | 99 | 24,50 | -0,0004 | -0,7 |
| 100 | 24,75 | -0,0006 | -1,0 | 101 | 25,00 | -0,0008 | -1,3 | 102 | | | |

Combinazione n° 2

| n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 1 | 0,00 | 2,7431 | 0,0 | 2 | 0,25 | 2,5814 | 26,2 | 3 | 0,50 | 2,4226 | 52,4 |
| 4 | 0,75 | 2,2670 | 78,6 | 5 | 1,00 | 2,1150 | 104,8 | 6 | 1,25 | 1,9668 | 123,9 |
| 7 | 1,50 | 1,8228 | 138,3 | 8 | 1,75 | 1,6833 | 152,6 | 9 | 2,00 | 1,5485 | 167,0 |
| 10 | 2,25 | 1,4186 | 181,4 | 11 | 2,50 | 1,2939 | 195,8 | 12 | 2,75 | 1,1746 | 210,2 |
| 13 | 3,00 | 1,0609 | 224,6 | 14 | 3,25 | 0,9528 | 239,0 | 15 | 3,50 | 0,8504 | 219,3 |
| 16 | 3,75 | 0,7539 | 194,4 | 17 | 4,00 | 0,6632 | 171,1 | 18 | 4,25 | 0,5784 | 149,2 |
| 19 | 4,50 | 0,4995 | 128,8 | 20 | 4,75 | 0,4263 | 325,3 | 21 | 5,00 | 0,3589 | 273,9 |
| 22 | 5,25 | 0,2971 | 226,7 | 23 | 5,50 | 0,2408 | 183,7 | 24 | 5,75 | 0,1898 | 144,8 |
| 25 | 6,00 | 0,1439 | 109,8 | 26 | 6,25 | 0,1028 | 78,4 | 27 | 6,50 | 0,0663 | 50,6 |
| 28 | 6,75 | 0,0342 | 26,1 | 29 | 7,00 | 0,0062 | 4,7 | 30 | 7,25 | -0,0180 | -13,8 |
| 31 | 7,50 | -0,0387 | -29,5 | 32 | 7,75 | -0,0561 | -42,8 | 33 | 8,00 | -0,0705 | -53,8 |
| 34 | 8,25 | -0,0821 | -62,6 | 35 | 8,50 | -0,0912 | -69,6 | 36 | 8,75 | -0,0981 | -74,8 |
| 37 | 9,00 | -0,1029 | -78,5 | 38 | 9,25 | -0,1059 | -80,8 | 39 | 9,50 | -0,1073 | -81,9 |
| 40 | 9,75 | -0,1073 | -81,9 | 41 | 10,00 | -0,1061 | -81,0 | 42 | 10,25 | -0,1038 | -79,2 |
| 43 | 10,50 | -0,1007 | -76,8 | 44 | 10,75 | -0,0968 | -73,8 | 45 | 11,00 | -0,0923 | -70,4 |
| 46 | 11,25 | -0,0873 | -66,6 | 47 | 11,50 | -0,0819 | -62,5 | 48 | 11,75 | -0,0763 | -58,2 |
| 49 | 12,00 | -0,0706 | -53,8 | 50 | 12,25 | -0,0648 | -49,4 | 51 | 12,50 | -0,0590 | -45,0 |
| 52 | 12,75 | -0,0533 | -91,2 | 53 | 13,00 | -0,0477 | -81,7 | 54 | 13,25 | -0,0424 | -72,6 |
| 55 | 13,50 | -0,0373 | -63,9 | 56 | 13,75 | -0,0325 | -55,7 | 57 | 14,00 | -0,0280 | -48,0 |
| 58 | 14,25 | -0,0239 | -40,9 | 59 | 14,50 | -0,0200 | -34,3 | 60 | 14,75 | -0,0165 | -28,3 |
| 61 | 15,00 | -0,0134 | -22,9 | 62 | 15,25 | -0,0105 | -18,0 | 63 | 15,50 | -0,0080 | -13,7 |
| 64 | 15,75 | -0,0057 | -9,8 | 65 | 16,00 | -0,0038 | -6,5 | 66 | 16,25 | -0,0021 | -3,6 |
| 67 | 16,50 | -0,0006 | -1,1 | 68 | 16,75 | 0,0006 | 1,0 | 69 | 17,00 | 0,0016 | 2,8 |
| 70 | 17,25 | 0,0025 | 4,2 | 71 | 17,50 | 0,0031 | 5,3 | 72 | 17,75 | 0,0036 | 6,2 |
| 73 | 18,00 | 0,0040 | 6,9 | 74 | 18,25 | 0,0043 | 7,3 | 75 | 18,50 | 0,0044 | 7,6 |
| 76 | 18,75 | 0,0045 | 7,7 | 77 | 19,00 | 0,0045 | 7,7 | 78 | 19,25 | 0,0044 | 7,6 |
| 79 | 19,50 | 0,0043 | 7,4 | 80 | 19,75 | 0,0042 | 7,1 | 81 | 20,00 | 0,0040 | 6,8 |
| 82 | 20,25 | 0,0038 | 6,4 | 83 | 20,50 | 0,0035 | 6,0 | 84 | 20,75 | 0,0033 | 5,6 |
| 85 | 21,00 | 0,0030 | 5,1 | 86 | 21,25 | 0,0027 | 4,7 | 87 | 21,50 | 0,0024 | 4,2 |
| 88 | 21,75 | 0,0022 | 3,7 | 89 | 22,00 | 0,0019 | 3,3 | 90 | 22,25 | 0,0016 | 2,8 |
| 91 | 22,50 | 0,0014 | 2,3 | 92 | 22,75 | 0,0011 | 1,9 | 93 | 23,00 | 0,0008 | 1,4 |
| 94 | 23,25 | 0,0006 | 1,0 | 95 | 23,50 | 0,0003 | 0,6 | 96 | 23,75 | 0,0001 | 0,1 |
| 97 | 24,00 | -0,0002 | -0,3 | 98 | 24,25 | -0,0004 | -0,7 | 99 | 24,50 | -0,0006 | -1,1 |
| 100 | 24,75 | -0,0009 | -1,5 | 101 | 25,00 | -0,0011 | -1,9 | 102 | | | |

## Spostamenti e pressioni limiti

*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo
Y ordinata palo espressa in [cm]
Ur spostamento limite espresso in [cm]
Pr pressione limite espressa in [kg/cmq]

| n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 1 | 0,00 | 5,0172 | 0,0 | 2 | 0,25 | 4,7981 | 26,2 | 3 | 0,50 | 4,5772 | 52,4 |
| 4 | 0,75 | 4,3552 | 78,6 | 5 | 1,00 | 4,1328 | 104,8 | 6 | 1,25 | 3,9108 | 123,9 |
| 7 | 1,50 | 3,6899 | 138,3 | 8 | 1,75 | 3,4709 | 152,6 | 9 | 2,00 | 3,2545 | 167,0 |
| 10 | 2,25 | 3,0413 | 181,4 | 11 | 2,50 | 2,8319 | 195,8 | 12 | 2,75 | 2,6270 | 210,2 |
| 13 | 3,00 | 2,4272 | 224,6 | 14 | 3,25 | 2,2331 | 239,0 | 15 | 3,50 | 2,0451 | 253,3 |
| 16 | 3,75 | 1,8638 | 267,7 | 17 | 4,00 | 1,6896 | 282,1 | 18 | 4,25 | 1,5230 | 296,5 |
| 19 | 4,50 | 1,3643 | 310,9 | 20 | 4,75 | 1,2138 | 558,6 | 21 | 5,00 | 1,0719 | 583,3 |
| 22 | 5,25 | 0,9387 | 608,0 | 23 | 5,50 | 0,8144 | 621,4 | 24 | 5,75 | 0,6991 | 533,4 |
| 25 | 6,00 | 0,5926 | 452,1 | 26 | 6,25 | 0,4948 | 377,5 | 27 | 6,50 | 0,4055 | 309,4 |
| 28 | 6,75 | 0,3244 | 247,5 | 29 | 7,00 | 0,2513 | 191,7 | 30 | 7,25 | 0,1858 | 141,8 |
| 31 | 7,50 | 0,1275 | 97,3 | 32 | 7,75 | 0,0761 | 58,1 | 33 | 8,00 | 0,0311 | 23,8 |
| 34 | 8,25 | -0,0078 | -5,9 | 35 | 8,50 | -0,0411 | -31,4 | 36 | 8,75 | -0,0692 | -52,8 |
| 37 | 9,00 | -0,0925 | -70,6 | 38 | 9,25 | -0,1114 | -85,0 | 39 | 9,50 | -0,1263 | -96,4 |
| 40 | 9,75 | -0,1375 | -104,9 | 41 | 10,00 | -0,1455 | -111,0 | 42 | 10,25 | -0,1506 | -114,9 |
| 43 | 10,50 | -0,1531 | -116,8 | 44 | 10,75 | -0,1534 | -117,0 | 45 | 11,00 | -0,1516 | -115,7 |
| 46 | 11,25 | -0,1482 | -113,1 | 47 | 11,50 | -0,1434 | -109,4 | 48 | 11,75 | -0,1374 | -104,8 |
| 49 | 12,00 | -0,1304 | -99,5 | 50 | 12,25 | -0,1228 | -93,7 | 51 | 12,50 | -0,1146 | -87,4 |
| 52 | 12,75 | -0,1061 | -181,8 | 53 | 13,00 | -0,0975 | -167,0 | 54 | 13,25 | -0,0888 | -152,1 |
| 55 | 13,50 | -0,0803 | -137,5 | 56 | 13,75 | -0,0720 | -123,3 | 57 | 14,00 | -0,0640 | -109,6 |
| 58 | 14,25 | -0,0564 | -96,5 | 59 | 14,50 | -0,0492 | -84,2 | 60 | 14,75 | -0,0424 | -72,7 |
| 61 | 15,00 | -0,0362 | -62,0 | 62 | 15,25 | -0,0304 | -52,1 | 63 | 15,50 | -0,0251 | -43,1 |
| 64 | 15,75 | -0,0204 | -34,9 | 65 | 16,00 | -0,0161 | -27,5 | 66 | 16,25 | -0,0122 | -21,0 |
| 67 | 16,50 | -0,0088 | -15,2 | 68 | 16,75 | -0,0059 | -10,1 | 69 | 17,00 | -0,0033 | -5,7 |

| n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 70 | 17,25 | -0,0011 | -1,9 | 71 | 17,50 | 0,0008 | 1,3 | 72 | 17,75 | 0,0023 | 4,0 |
| 73 | 18,00 | 0,0036 | 6,2 | 74 | 18,25 | 0,0046 | 7,9 | 75 | 18,50 | 0,0054 | 9,3 |
| 76 | 18,75 | 0,0060 | 10,3 | 77 | 19,00 | 0,0064 | 11,0 | 78 | 19,25 | 0,0067 | 11,4 |
| 79 | 19,50 | 0,0068 | 11,6 | 80 | 19,75 | 0,0068 | 11,6 | 81 | 20,00 | 0,0067 | 11,5 |
| 82 | 20,25 | 0,0065 | 11,2 | 83 | 20,50 | 0,0063 | 10,7 | 84 | 20,75 | 0,0060 | 10,2 |
| 85 | 21,00 | 0,0056 | 9,7 | 86 | 21,25 | 0,0053 | 9,0 | 87 | 21,50 | 0,0049 | 8,3 |
| 88 | 21,75 | 0,0044 | 7,6 | 89 | 22,00 | 0,0040 | 6,9 | 90 | 22,25 | 0,0036 | 6,1 |
| 91 | 22,50 | 0,0031 | 5,4 | 92 | 22,75 | 0,0027 | 4,6 | 93 | 23,00 | 0,0022 | 3,8 |
| 94 | 23,25 | 0,0018 | 3,1 | 95 | 23,50 | 0,0013 | 2,3 | 96 | 23,75 | 0,0009 | 1,5 |
| 97 | 24,00 | 0,0005 | 0,8 | 98 | 24,25 | 0,0000 | 0,0 | 99 | 24,50 | -0,0004 | -0,7 |
| 100 | 24,75 | -0,0009 | -1,5 | 101 | 25,00 | -0,0013 | -2,2 | 102 | | | |

Di seguito sono riepilogati i coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche desunti dal software di calcolo relativamente alle diverse combinazioni di carico considerate:

| COMBINAZIONE | CARICO LIMITE | PORTANZA LATERALE |
|---|---|---|
| SLU - STR | 1,420 | 1,740 |
| SLV | 2,977 | 1,369 |

## 16.2.2 SPALLA B

### Richiami teorici

Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il valore di calcolo della resistenza verticale del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.
La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:
$Q_T$ Portanza totale del palo;
$Q_P$ Portanza di base del palo;
$Q_L$ Portanza per attrito laterale del palo;
$W_P$ Peso proprio del palo.
Le due componenti $Q_P$ e $Q_L$ sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.
Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo $Q_A$ applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente $\gamma_b$ e $\gamma_s$.
I coefficienti $\gamma_b$ e $\gamma_s$ rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.
Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_p/\gamma_b + Q_l/\gamma_s - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_l/\gamma_s + W_P$$

*Capacità portante di punta*

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c\, N_c + q_b\, N_q)$$

dove $A_P$ è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, $q_b$ è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti $N_c$ e $N_q$ sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.
$N_c$ ed $N_q$ dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ($\phi$ e c).

*Capacità portante per attrito laterale*

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = Int(\tau_a)dS$$

dove $\tau_a$ è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \, tg \, \delta$$

dove $c_a$ è l'adesione palo-terreno, $\delta$ è l'angolo di attrito palo-terreno, e $\sigma_h$ è la tensione orizzontale alla generica profondità z. La tensione orizzontale $\sigma_h$ è legata alla pressione verticale $\sigma_v$ tramite il coefficiente di spinta $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con C il perimetro e con L la lunghezza del palo abbiamo:

$$Int^L(C(c_a + K_s\sigma_v \, tg \, \delta)dz)$$

## Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidezza elastica, $K_h$, espressa in $Kg/cm^2/cm$ che rappresenta la pressione (in $Kg/cm^2$) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate $K_h$ assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di $K_h$ è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di $K_h$ assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B \, z^{\,n}$$

Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidezza che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molle non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con $dy_e$ la lunghezza del tratto di influenza della molla, con D il diametro del palo la molla avrà una rigidezza pari a:

$$K_m = dy_e \;\; D \;\; K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esplicare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite pu=pu(z) dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi (c=cu, $\phi$=0) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12 cu. Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità z è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):

$$P_u = q \, K_{pq} + c \, K_{pc}$$

dove:
D diametro del palo
q pressione geostatica alla profondità z
c coesione alla profondità z
$K_{pq}$, $K_{pc}$ coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno $\phi$ e del rapporto z/D.
Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a 1,5D e poi valore costante pari a $9c_u$ D.
Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore $3\sigma_v K_p$ D (alla base) essendo $K_p$ il coefficiente di resistenza passiva espresso da $K_p = tan^2(45° + \phi/2)$.

# Dati

## Geometria della fondazione

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| *Descr* | Descrizione del palo |
| *Frm* | Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato) |
| *X* | Ascissa del baricentro del palo espressa in [m] |
| *Y* | Ordinata del baricentro del palo espressa in [m] |
| *D* | Diametro del palo espresso in [cm] |
| *L* | Lunghezza del palo espressa in [m] |

| Descr | Frm | X | Y | D | L |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| Palo 120 | (C) | 0,00 | 0,00 | 120,00 | 25,00 |

## Materiali palo

*Calcestruzzo*

| | | |
|---|---|---|
| Tipo | C25/30 | |
| Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$ | 305,91 | [kg/cmq] |
| Peso specifico | 2500,00 | [kg/mc] |
| Modulo elastico | 320665,55 | [kg/cmq] |
| Coeff. di omogeneizzazione | 15,00 | |

*Acciaio*

| | | |
|---|---|---|
| Tipo | B450C | |
| Tensione caratteristica di snervamento | 4588,65 | [kg/cmq] |

### Coefficienti di sicurezza sui materiali

| | |
|---|---|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo | 1.50 |
| Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 1.15 |
| Coefficiente di sicurezza sezione | 1.00 |

## Caratteristiche pali

Pali in c.a.
Armatura con ferri longitudinali e staffe
Vincolo in testa di tipo CERNIERA
Tipo di palo TRIVELLATO
Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

## Descrizione terreni e falda

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| *Descrizione* | Descrizione terreno |
| $\gamma$ | Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc] |
| $\gamma_{sat}$ | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc] |
| $\phi$ | Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi |
| $\delta$ | Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi |
| $c$ | Coesione del terreno espressa in [kg/cmq] |
| $ca$ | Adesione del terreno espressa in [kg/cmq] |
| $\phi_{min}$, $\phi_{med}$ | Angolo di attrito interno del terreno minimo e medio espresso in gradi |
| $\delta_{min}$, $\delta_{med}$ | Angolo di attrito palo-terreno minimo e medio espresso in gradi |
| $c_{min}$, $c_{med}$ | Coesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq] |
| $ca_{min}$, $ca_{med}$ | Adesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq] |

**Parametri caratteristici**

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_{sat}$ | $\phi$ | $\delta$ | c | ca |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[kN/mc]* | *[kN/mc]* | *[°]* | *[°]* | *[kPa]* | *[kPa]* |
| a2g (superficie) | 18,500 | 19,970 | 17,90 | 17,90 | 0,4 | 0,4 |
| VLU3 (substrato) | 19,500 | 20,130 | 28,40 | 28,40 | 29,9 | 20,0 |
| a2g (base) | 18,500 | 19,970 | 31,90 | 31,90 | 25,9 | 18,7 |
| Rilevato | 19,000 | 19,000 | 36,90 | 36,90 | 0,0 | 0,0 |

**Parametri minimi**

| Descrizione | $\phi_{min}$ | $\delta_{min}$ | $c_{min}$ | $ca_{min}$ |
|---|---|---|---|---|
| | *[°]* | *[°]* | *[kPa]* | *[kPa]* |
| a2g (superficie) | 17,90 | 17,90 | 0,4 | 0,4 |
| VLU3 (substrato) | 28,40 | 28,40 | 29,9 | 20,0 |
| a2g (base) | 31,90 | 31,90 | 25,9 | 18,7 |
| Rilevato | 36,90 | 36,90 | 0,0 | 0,0 |

**Parametri medi**

| Descrizione | $\phi_{med}$ | $\delta_{med}$ | $c_{med}$ | $ca_{med}$ |
|---|---|---|---|---|
| | *[°]* | *[°]* | *[kPa]* | *[kPa]* |
| a2g (superficie) | 18,00 | 18,00 | 0,5 | 0,5 |
| VLU3 (substrato) | 28,50 | 28,50 | 30,0 | 20,1 |
| a2g (base) | 32,00 | 32,00 | 26,0 | 18,8 |
| Rilevato | 37,00 | 37,00 | 0,0 | 0,0 |

### Falda

Profondità dal piano di posa 1,32 [m]

## Descrizione stratigrafia

*Simbologia adottata*

*N* Identificativo strato
*Z1* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
*Z2* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
*Z3* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
*Terreno* Terreno dello strato
*Kw* Costante di Winkler espressa in Kg/cm$^2$/cm
*Ks* Coefficiente di spinta
$\alpha$ Coefficiente di espansione laterale

| n° | Z1 | Z2 | Z3 | Terreno | Kw | Ks | α |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* | | *[kg/cmq/cm]* | | |
| 1 | -0,6 | -0,6 | -1,1 | Rilevato | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | -1,3 | -1,3 | -4,2 | a2g (superficie) | 1.66 | 0.69 | 1.00 |
| 3 | -5,6 | -5,6 | -5,6 | a2g (superficie) | 3.20 | 0.69 | 1.00 |
| 4 | -14,3 | -14,3 | -14,3 | a2g (base) | 9.20 | 0.47 | 1.00 |
| 5 | -25,0 | -25,0 | -25,0 | VLU3 (substrato) | 18.44 | 0.52 | 1.00 |

## Normativa

N.T.C. 2018 - Approccio 2

*Simbologia adottata*

$\gamma_{Gsfav}$ Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$ Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$ Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$ Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$ Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_{\gamma}$ Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

**Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:**

| | | | Statici | | Sismici | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Carichi** | **Effetto** | | **A1** | **A2** | **A1** | **A2** |
| Permanenti | Favorevole | $\gamma_{Gfav}$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | $\gamma_{Gsfav}$ | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{Qfav}$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Qsfav}$ | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 |

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:**

| | | Statici | | Sismici | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parametri** | | **M1** | **M2** | **M1** | **M2** |
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | $\gamma_{cu}$ | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$ | 1.00 | 1.60 | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | $\gamma_{\gamma}$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

## PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche dei pali

**Pali trivellati**

| | | R3 |
|---|---|---|
| Punta | $\gamma_b$ | 1.35 |
| Laterale compressione | $\gamma_s$ | 1.15 |
| Totale compressione | $\gamma_t$ | 1.30 |
| Laterale trazione | $\gamma_{st}$ | 1.25 |

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali $\gamma_T$ per le verifiche dei pali.

| | | R3 |
|---|---|---|
| | $\gamma_T$ | 1.30 |

Coefficienti di riduzione $\xi$ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali
Numero di verticali indagate 1 $\xi_3$=1.70 $\xi_4$=1.70

## Condizioni di carico

**Le condizioni di carico definite rappresentano le combinazioni di calcolo**

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| *fnd* | Indice della fondazione |
| $N_{TOT}$ | Sforzo normale totale espressa in [kg] |
| $My_{TOT}$ | Momento in direzione Y espresso in [kgm] |
| $T_{TOT}$ | Forza di taglio espressa in [kg] |

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - [ ]

| Fondazione | $N_{TOT}$ | $My_{TOT}$ | $Tx_{TOT}$ |
|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* |
| Palo 120 | 2841,640 | 249,180 | 712,270 |

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - [ ]

| Fondazione | $N_{TOT}$ | $My_{TOT}$ | $Tx_{TOT}$ |
|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* |
| Palo 120 | 1355,240 | 1301,690 | 699,840 |

## Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

| | |
|---|---|
| $\gamma$ | Coefficiente di partecipazione della condizione |
| $\Psi$ | Coefficiente di combinazione della condizione |

Combinazione n° 1 - STR - A1-M1-R3

| Cond | $\gamma$ | $\Psi$ |
|---|---|---|
| Condizione n° 1 | 1.00 | 1.00 |

Combinazione n° 2 - SLV - A1-M1-R3

| Cond | $\gamma$ | $\Psi$ |
|---|---|---|
| Condizione n° 2 | 1.00 | 1.00 |

## Opzioni di calcolo

**Analisi in condizioni drenate**

### *Verifica della portanza assiale*

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Berezantzev ridotto.
L'andamento della pressione verticale $\sigma_v$ con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

### *Verifica della portanza trasversale*

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO
Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Pressione passiva con moltiplicatore = 3.00)

# Risultati

## Verifica della portanza assiale

*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione
Nc, Nq Fattori di capacità portante
$Pl_{min}$, $Pl_{med}$ Portanza laterale minima e media espressa in [kg]
$Pp_{min}$, $Pp_{med}$ Portanza di punta minima e media espressa in [kg]
Pd Portanza di progetto espressa in [kg]
N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]
η Coeff. di sicurezza per carichi verticali

| cmb | Nc | Nq |
|---|---|---|
| 1 | 23.23 | 13.61 |
| 2 | 23.23 | 13.61 |

| cmb | $Pl_{med}$ | $Pp_{med}$ | $Pl_{min}$ | $Pp_{min}$ | Wp | Pd | N | η |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | |
| 1 | 5124,27 | 4899,71 | 5099,72 | 4844,56 | 693,20 | 4026,27 | 2841,64 | **1.417** |
| 2 | 5124,27 | 4899,71 | 5099,72 | 4844,56 | 693,20 | 4026,27 | 1355,24 | **2.971** |

## Verifica della portanza trasversale

*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione
Tu Taglio resistente ultimo in testa al palo, espresso in [kg]
Tx Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]
η=Tu/Tx Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

| cmb | Tu | T | η |
|---|---|---|---|
| | *[kN]* | *[kN]* | |
| 1 | 1236,20 | 712,27 | **1,736** |
| 2 | 956,62 | 699,84 | **1,367** |

## Spostamenti e pressioni

*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo
Y ordinata palo espressa in [cm]
Ue spostamento espresso in [cm]
Pe pressione espressa in [kg/cmq]

### Combinazione n° 1

| n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 1 | 0,00 | 1,9624 | 0,0 | 2 | 0,25 | 1,8556 | 0,0 | 3 | 0,50 | 1,7495 | 0,0 |
| 4 | 0,75 | 1,6447 | 80,3 | 5 | 1,00 | 1,5414 | 106,5 | 6 | 1,25 | 1,4400 | 132,7 |
| 7 | 1,50 | 1,3407 | 150,4 | 8 | 1,75 | 1,2439 | 164,8 | 9 | 2,00 | 1,1499 | 179,2 |
| 10 | 2,25 | 1,0589 | 193,6 | 11 | 2,50 | 0,9712 | 207,9 | 12 | 2,75 | 0,8868 | 222,3 |
| 13 | 3,00 | 0,8061 | 236,7 | 14 | 3,25 | 0,7292 | 228,8 | 15 | 3,50 | 0,6561 | 205,9 |
| 16 | 3,75 | 0,5869 | 184,2 | 17 | 4,00 | 0,5217 | 163,7 | 18 | 4,25 | 0,4605 | 144,5 |
| 19 | 4,50 | 0,4032 | 126,5 | 20 | 4,75 | 0,3499 | 109,8 | 21 | 5,00 | 0,3004 | 94,3 |
| 22 | 5,25 | 0,2547 | 79,9 | 23 | 5,50 | 0,2128 | 66,8 | 24 | 5,75 | 0,1745 | 157,5 |
| 25 | 6,00 | 0,1398 | 126,1 | 26 | 6,25 | 0,1084 | 97,8 | 27 | 6,50 | 0,0803 | 72,5 |
| 28 | 6,75 | 0,0553 | 49,9 | 29 | 7,00 | 0,0333 | 30,0 | 30 | 7,25 | 0,0140 | 12,6 |
| 31 | 7,50 | -0,0028 | -2,5 | 32 | 7,75 | -0,0171 | -15,4 | 33 | 8,00 | -0,0292 | -26,4 |
| 34 | 8,25 | -0,0393 | -35,5 | 35 | 8,50 | -0,0475 | -42,9 | 36 | 8,75 | -0,0541 | -48,8 |
| 37 | 9,00 | -0,0591 | -53,3 | 38 | 9,25 | -0,0628 | -56,7 | 39 | 9,50 | -0,0653 | -58,9 |
| 40 | 9,75 | -0,0667 | -60,1 | 41 | 10,00 | -0,0671 | -60,6 | 42 | 10,25 | -0,0668 | -60,3 |
| 43 | 10,50 | -0,0657 | -59,3 | 44 | 10,75 | -0,0641 | -57,8 | 45 | 11,00 | -0,0620 | -55,9 |
| 46 | 11,25 | -0,0595 | -53,7 | 47 | 11,50 | -0,0567 | -51,1 | 48 | 11,75 | -0,0536 | -48,3 |
| 49 | 12,00 | -0,0503 | -45,4 | 50 | 12,25 | -0,0469 | -42,4 | 51 | 12,50 | -0,0435 | -39,3 |
| 52 | 12,75 | -0,0400 | -36,1 | 53 | 13,00 | -0,0366 | -33,0 | 54 | 13,25 | -0,0332 | -30,0 |
| 55 | 13,50 | -0,0299 | -27,0 | 56 | 13,75 | -0,0267 | -24,1 | 57 | 14,00 | -0,0237 | -21,4 |
| 58 | 14,25 | -0,0208 | -18,8 | 59 | 14,50 | -0,0181 | -32,7 | 60 | 14,75 | -0,0155 | -28,1 |
| 61 | 15,00 | -0,0132 | -23,8 | 62 | 15,25 | -0,0110 | -19,9 | 63 | 15,50 | -0,0090 | -16,3 |
| 64 | 15,75 | -0,0072 | -13,1 | 65 | 16,00 | -0,0056 | -10,2 | 66 | 16,25 | -0,0042 | -7,6 |
| 67 | 16,50 | -0,0030 | -5,4 | 68 | 16,75 | -0,0019 | -3,4 | 69 | 17,00 | -0,0010 | -1,7 |
| 70 | 17,25 | -0,0002 | -0,3 | 71 | 17,50 | 0,0005 | 0,9 | 72 | 17,75 | 0,0011 | 1,9 |
| 73 | 18,00 | 0,0015 | 2,8 | 74 | 18,25 | 0,0019 | 3,4 | 75 | 18,50 | 0,0021 | 3,9 |
| 76 | 18,75 | 0,0023 | 4,2 | 77 | 19,00 | 0,0025 | 4,5 | 78 | 19,25 | 0,0025 | 4,6 |
| 79 | 19,50 | 0,0026 | 4,6 | 80 | 19,75 | 0,0026 | 4,6 | 81 | 20,00 | 0,0025 | 4,5 |
| 82 | 20,25 | 0,0024 | 4,4 | 83 | 20,50 | 0,0023 | 4,2 | 84 | 20,75 | 0,0022 | 4,0 |
| 85 | 21,00 | 0,0021 | 3,7 | 86 | 21,25 | 0,0019 | 3,5 | 87 | 21,50 | 0,0018 | 3,2 |
| 88 | 21,75 | 0,0016 | 2,9 | 89 | 22,00 | 0,0014 | 2,6 | 90 | 22,25 | 0,0013 | 2,3 |
| 91 | 22,50 | 0,0011 | 2,0 | 92 | 22,75 | 0,0009 | 1,7 | 93 | 23,00 | 0,0008 | 1,4 |
| 94 | 23,25 | 0,0006 | 1,1 | 95 | 23,50 | 0,0004 | 0,8 | 96 | 23,75 | 0,0003 | 0,5 |
| 97 | 24,00 | 0,0001 | 0,2 | 98 | 24,25 | -0,0001 | -0,1 | 99 | 24,50 | -0,0002 | -0,4 |

| n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [cm] | [kPa] | | [m] | [cm] | [kPa] | | [m] | [cm] | [kPa] |
| 100 | 24,75 | -0,0004 | -0,7 | 101 | 25,00 | -0,0005 | -1,0 | 102 | | | |

Combinazione n° 2

| n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe | n° | Y | Ue | Pe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [cm] | [kPa] | | [m] | [cm] | [kPa] | | [m] | [cm] | [kPa] |
| 1 | 0,00 | 2,8279 | 0,0 | 2 | 0,25 | 2,6637 | 0,0 | 3 | 0,50 | 2,5025 | 0,0 |
| 4 | 0,75 | 2,3444 | 80,3 | 5 | 1,00 | 2,1899 | 106,5 | 6 | 1,25 | 2,0393 | 132,7 |
| 7 | 1,50 | 1,8929 | 150,4 | 8 | 1,75 | 1,7510 | 164,8 | 9 | 2,00 | 1,6139 | 179,2 |
| 10 | 2,25 | 1,4818 | 193,6 | 11 | 2,50 | 1,3550 | 207,9 | 12 | 2,75 | 1,2336 | 222,3 |
| 13 | 3,00 | 1,1177 | 236,7 | 14 | 3,25 | 1,0077 | 251,1 | 15 | 3,50 | 0,9034 | 265,5 |
| 16 | 3,75 | 0,8051 | 252,6 | 17 | 4,00 | 0,7126 | 223,6 | 18 | 4,25 | 0,6260 | 196,5 |
| 19 | 4,50 | 0,5453 | 171,1 | 20 | 4,75 | 0,4704 | 147,6 | 21 | 5,00 | 0,4011 | 125,9 |
| 22 | 5,25 | 0,3374 | 105,9 | 23 | 5,50 | 0,2790 | 87,6 | 24 | 5,75 | 0,2259 | 203,8 |
| 25 | 6,00 | 0,1779 | 160,5 | 26 | 6,25 | 0,1347 | 121,6 | 27 | 6,50 | 0,0962 | 86,8 |
| 28 | 6,75 | 0,0621 | 56,0 | 29 | 7,00 | 0,0321 | 29,0 | 30 | 7,25 | 0,0060 | 5,4 |
| 31 | 7,50 | -0,0164 | -14,8 | 32 | 7,75 | -0,0355 | -32,1 | 33 | 8,00 | -0,0516 | -46,5 |
| 34 | 8,25 | -0,0648 | -58,4 | 35 | 8,50 | -0,0754 | -68,0 | 36 | 8,75 | -0,0837 | -75,5 |
| 37 | 9,00 | -0,0900 | -81,2 | 38 | 9,25 | -0,0943 | -85,1 | 39 | 9,50 | -0,0970 | -87,5 |
| 40 | 9,75 | -0,0983 | -88,7 | 41 | 10,00 | -0,0983 | -88,7 | 42 | 10,25 | -0,0972 | -87,7 |
| 43 | 10,50 | -0,0952 | -85,9 | 44 | 10,75 | -0,0924 | -83,4 | 45 | 11,00 | -0,0890 | -80,3 |
| 46 | 11,25 | -0,0850 | -76,7 | 47 | 11,50 | -0,0807 | -72,8 | 48 | 11,75 | -0,0761 | -68,6 |
| 49 | 12,00 | -0,0712 | -64,3 | 50 | 12,25 | -0,0662 | -59,8 | 51 | 12,50 | -0,0612 | -55,2 |
| 52 | 12,75 | -0,0562 | -50,7 | 53 | 13,00 | -0,0512 | -46,2 | 54 | 13,25 | -0,0463 | -41,8 |
| 55 | 13,50 | -0,0416 | -37,5 | 56 | 13,75 | -0,0370 | -33,4 | 57 | 14,00 | -0,0327 | -29,5 |
| 58 | 14,25 | -0,0286 | -25,8 | 59 | 14,50 | -0,0247 | -44,7 | 60 | 14,75 | -0,0212 | -38,3 |
| 61 | 15,00 | -0,0179 | -32,3 | 62 | 15,25 | -0,0148 | -26,8 | 63 | 15,50 | -0,0121 | -21,8 |
| 64 | 15,75 | -0,0096 | -17,3 | 65 | 16,00 | -0,0074 | -13,3 | 66 | 16,25 | -0,0054 | -9,8 |
| 67 | 16,50 | -0,0037 | -6,7 | 68 | 16,75 | -0,0022 | -4,0 | 69 | 17,00 | -0,0009 | -1,7 |
| 70 | 17,25 | 0,0002 | 0,3 | 71 | 17,50 | 0,0011 | 1,9 | 72 | 17,75 | 0,0018 | 3,3 |
| 73 | 18,00 | 0,0024 | 4,4 | 74 | 18,25 | 0,0029 | 5,2 | 75 | 18,50 | 0,0032 | 5,8 |
| 76 | 18,75 | 0,0035 | 6,3 | 77 | 19,00 | 0,0036 | 6,6 | 78 | 19,25 | 0,0037 | 6,7 |
| 79 | 19,50 | 0,0037 | 6,7 | 80 | 19,75 | 0,0037 | 6,6 | 81 | 20,00 | 0,0036 | 6,5 |
| 82 | 20,25 | 0,0035 | 6,2 | 83 | 20,50 | 0,0033 | 6,0 | 84 | 20,75 | 0,0031 | 5,6 |
| 85 | 21,00 | 0,0029 | 5,2 | 86 | 21,25 | 0,0027 | 4,9 | 87 | 21,50 | 0,0025 | 4,4 |
| 88 | 21,75 | 0,0022 | 4,0 | 89 | 22,00 | 0,0020 | 3,6 | 90 | 22,25 | 0,0017 | 3,2 |
| 91 | 22,50 | 0,0015 | 2,7 | 92 | 22,75 | 0,0013 | 2,3 | 93 | 23,00 | 0,0010 | 1,9 |
| 94 | 23,25 | 0,0008 | 1,4 | 95 | 23,50 | 0,0006 | 1,0 | 96 | 23,75 | 0,0003 | 0,6 |
| 97 | 24,00 | 0,0001 | 0,2 | 98 | 24,25 | -0,0001 | -0,2 | 99 | 24,50 | -0,0004 | -0,7 |
| 100 | 24,75 | -0,0006 | -1,1 | 101 | 25,00 | -0,0008 | -1,5 | 102 | | | |

## Spostamenti e pressioni limiti

*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo
Y ordinata palo espressa in [cm]
Ur spostamento limite espresso in [cm]
Pr pressione limite espressa in [kg/cmq]

| n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [cm] | [kPa] | | [m] | [cm] | [kPa] | | [m] | [cm] | [kPa] |
| 1 | 0,00 | 5,2797 | 0,0 | 2 | 0,25 | 5,0537 | 0,0 | 3 | 0,50 | 4,8259 | 0,0 |
| 4 | 0,75 | 4,5970 | 80,3 | 5 | 1,00 | 4,3677 | 106,5 | 6 | 1,25 | 4,1389 | 132,7 |
| 7 | 1,50 | 3,9112 | 150,4 | 8 | 1,75 | 3,6854 | 164,8 | 9 | 2,00 | 3,4621 | 179,2 |
| 10 | 2,25 | 3,2421 | 193,6 | 11 | 2,50 | 3,0259 | 207,9 | 12 | 2,75 | 2,8142 | 222,3 |
| 13 | 3,00 | 2,6076 | 236,7 | 14 | 3,25 | 2,4065 | 251,1 | 15 | 3,50 | 2,2116 | 265,5 |
| 16 | 3,75 | 2,0232 | 279,9 | 17 | 4,00 | 1,8419 | 294,3 | 18 | 4,25 | 1,6680 | 308,7 |
| 19 | 4,50 | 1,5018 | 323,0 | 20 | 4,75 | 1,3438 | 337,4 | 21 | 5,00 | 1,1941 | 351,8 |
| 22 | 5,25 | 1,0530 | 330,4 | 23 | 5,50 | 0,9205 | 288,9 | 24 | 5,75 | 0,7970 | 678,3 |
| 25 | 6,00 | 0,6824 | 615,6 | 26 | 6,25 | 0,5766 | 520,2 | 27 | 6,50 | 0,4796 | 432,7 |
| 28 | 6,75 | 0,3912 | 352,9 | 29 | 7,00 | 0,3110 | 280,6 | 30 | 7,25 | 0,2389 | 215,5 |
| 31 | 7,50 | 0,1744 | 157,3 | 32 | 7,75 | 0,1171 | 105,7 | 33 | 8,00 | 0,0667 | 60,2 |
| 34 | 8,25 | 0,0228 | 20,5 | 35 | 8,50 | -0,0152 | -13,7 | 36 | 8,75 | -0,0476 | -42,9 |
| 37 | 9,00 | -0,0748 | -67,5 | 38 | 9,25 | -0,0974 | -87,9 | 39 | 9,50 | -0,1156 | -104,3 |
| 40 | 9,75 | -0,1300 | -117,3 | 41 | 10,00 | -0,1408 | -127,0 | 42 | 10,25 | -0,1485 | -134,0 |
| 43 | 10,50 | -0,1534 | -138,4 | 44 | 10,75 | -0,1558 | -140,6 | 45 | 11,00 | -0,1561 | -140,9 |
| 46 | 11,25 | -0,1546 | -139,5 | 47 | 11,50 | -0,1514 | -136,6 | 48 | 11,75 | -0,1470 | -132,6 |
| 49 | 12,00 | -0,1414 | -127,6 | 50 | 12,25 | -0,1349 | -121,7 | 51 | 12,50 | -0,1278 | -115,3 |
| 52 | 12,75 | -0,1201 | -108,3 | 53 | 13,00 | -0,1120 | -101,1 | 54 | 13,25 | -0,1037 | -93,6 |
| 55 | 13,50 | -0,0953 | -86,0 | 56 | 13,75 | -0,0869 | -78,4 | 57 | 14,00 | -0,0787 | -71,0 |
| 58 | 14,25 | -0,0706 | -63,7 | 59 | 14,50 | -0,0628 | -113,6 | 60 | 14,75 | -0,0554 | -100,2 |
| 61 | 15,00 | -0,0484 | -87,5 | 62 | 15,25 | -0,0418 | -75,5 | 63 | 15,50 | -0,0356 | -64,5 |
| 64 | 15,75 | -0,0300 | -54,3 | 65 | 16,00 | -0,0248 | -44,9 | 66 | 16,25 | -0,0201 | -36,4 |
| 67 | 16,50 | -0,0159 | -28,8 | 68 | 16,75 | -0,0122 | -22,0 | 69 | 17,00 | -0,0088 | -16,0 |
| 70 | 17,25 | -0,0059 | -10,7 | 71 | 17,50 | -0,0034 | -6,2 | 72 | 17,75 | -0,0012 | -2,3 |

| n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* | | *[m]* | *[cm]* | *[kPa]* |
| 73 | 18,00 | 0,0006 | 1,1 | 74 | 18,25 | 0,0021 | 3,8 | 75 | 18,50 | 0,0034 | 6,1 |
| 76 | 18,75 | 0,0043 | 7,9 | 77 | 19,00 | 0,0051 | 9,3 | 78 | 19,25 | 0,0057 | 10,3 |
| 79 | 19,50 | 0,0061 | 11,0 | 80 | 19,75 | 0,0063 | 11,5 | 81 | 20,00 | 0,0064 | 11,7 |
| 82 | 20,25 | 0,0064 | 11,7 | 83 | 20,50 | 0,0063 | 11,5 | 84 | 20,75 | 0,0062 | 11,2 |
| 85 | 21,00 | 0,0059 | 10,7 | 86 | 21,25 | 0,0056 | 10,2 | 87 | 21,50 | 0,0053 | 9,6 |
| 88 | 21,75 | 0,0049 | 8,9 | 89 | 22,00 | 0,0045 | 8,2 | 90 | 22,25 | 0,0041 | 7,4 |
| 91 | 22,50 | 0,0037 | 6,7 | 92 | 22,75 | 0,0032 | 5,9 | 93 | 23,00 | 0,0028 | 5,1 |
| 94 | 23,25 | 0,0023 | 4,2 | 95 | 23,50 | 0,0019 | 3,4 | 96 | 23,75 | 0,0014 | 2,6 |
| 97 | 24,00 | 0,0010 | 1,8 | 98 | 24,25 | 0,0005 | 1,0 | 99 | 24,50 | 0,0001 | 0,2 |
| 100 | 24,75 | -0,0004 | -0,6 | 101 | 25,00 | -0,0008 | -1,5 | 102 | | | |

Di seguito sono riepilogati i coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche desunti dal software di calcolo relativamente alle diverse combinazioni di carico considerate:

| COMBINAZIONE | CARICO LIMITE | PORTANZA LATERALE |
|---|---|---|
| SLU - STR | 1,417 | 1,736 |
| SLV | 2,971 | 1,367 |

# 17 CALCOLO DELLE INCIDENZE

## 17.1 INCIDENZA DELLA CARPENTERIA METALLICA DELL'IMPALCATO

Di seguito è riportato il calcolo dell'incidenza della carpenteria metallica dell'impalcato:

**PONTE SAVIGNANO - DISTINTA DI CARPENTERIA METALLICA**

**TRAVI PRINCIPALI**

| CONCIO | N. | L [m] | $H_{trave}$ [mm] | $l_{impiatt.sup}$ [mm] | $s_{impiatt.sup}$ [mm] | $l_{piattab.sup}$ [mm] | $s_{piattab.sup}$ [mm] | $h_{anima}$ [mm] | $s_{anima}$ [mm] | $l_{piattab.inf}$ [mm] | $s_{piattab.inf}$ [mm] | $l_{impiatt.inf}$ [mm] | $s_{impiatt.inf}$ [mm] | V [m³] | P [kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TR-1-1 | 1 | 8,52 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 4.693,78 |
| TR-1-2 | 1 | 8,93 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.180,00 | 22,00 | 750,00 | 20,00 | 800,00 | 30,00 | 0,69 | 5.394,93 |
| TR-1-3 | 1 | 8,27 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 4.556,05 |
| TR-2-1 | 1 | 8,59 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 4.732,34 |
| TR-2-2 | 1 | 9,04 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.180,00 | 22,00 | 750,00 | 20,00 | 800,00 | 30,00 | 0,70 | 5.461,39 |
| TR-2-3 | 1 | 8,40 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,59 | 4.627,67 |
| TR-3-1 | 1 | 8,66 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,61 | 4.770,91 |
| TR3-2 | 1 | 9,15 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.180,00 | 22,00 | 750,00 | 20,00 | 800,00 | 30,00 | 0,70 | 5.527,84 |
| TR-3-3 | 1 | 8,54 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 4.704,80 |
| TR-4-1 | 1 | 8,73 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,61 | 4.809,47 |
| TR-4-2 | 1 | 9,26 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.180,00 | 22,00 | 750,00 | 20,00 | 800,00 | 30,00 | 0,71 | 5.594,30 |
| TR-4-3 | 1 | 8,67 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,61 | 4.776,42 |
| TR-5-1 | 1 | 8,80 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,62 | 4.848,03 |
| TR-5-2 | 1 | 9,37 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.180,00 | 22,00 | 750,00 | 20,00 | 800,00 | 30,00 | 0,72 | 5.660,75 |
| TR-5-3 | 1 | 8,80 | 1.250,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 20,00 | 1.190,00 | 22,00 | 800,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,62 | 4.848,03 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 75.006,72 |

**IRRIGIDENTI TRAVI PRINCIPALI**

| CONCIO | N. | l [mm] | s [mm] | h [mm] | V [m³] | P [kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 50 | 289,00 | 20,00 | 1.190,00 | 0,34 | 2.699,69 |
| 02 | 30 | 289,00 | 20,00 | 1.180,00 | 0,20 | 1.606,20 |
| 03 | 50 | 289,00 | 20,00 | 1.190,00 | 0,34 | 2.699,69 |
| | | | | | | 7.005,59 |

**PIOLATURA TRAVI PRINCIPALI**

| CONCIO | N. | L [m] | $n_{pioli}$/fila | $i_{pioli}$ [m] | $n_{pioli}$ | $P_{piolo}$ [kg] | P [kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TR-1-1 | 1 | 8,52 | 4 | 0,20 | 170 | 0,52 | 88,61 |
| TR-1-2 | 1 | 8,93 | 3 | 0,20 | 134 | 0,52 | 69,65 |
| TR-1-3 | 1 | 8,27 | 4 | 0,20 | 165 | 0,52 | 86,01 |
| TR-2-1 | 1 | 8,59 | 4 | 0,20 | 172 | 0,52 | 89,34 |
| TR-2-2 | 1 | 9,04 | 3 | 0,20 | 136 | 0,52 | 70,51 |
| TR-2-3 | 1 | 8,40 | 4 | 0,20 | 168 | 0,52 | 87,36 |
| TR-3-1 | 1 | 8,66 | 4 | 0,20 | 173 | 0,52 | 90,06 |
| TR3-2 | 1 | 9,15 | 3 | 0,20 | 137 | 0,52 | 71,37 |
| TR-3-3 | 1 | 8,54 | 4 | 0,20 | 171 | 0,52 | 88,82 |
| TR-4-1 | 1 | 8,73 | 4 | 0,20 | 175 | 0,52 | 90,79 |
| TR-4-2 | 1 | 9,26 | 3 | 0,20 | 139 | 0,52 | 72,23 |
| TR-4-3 | 1 | 8,67 | 4 | 0,20 | 173 | 0,52 | 90,17 |
| TR-5-1 | 1 | 8,80 | 4 | 0,20 | 176 | 0,52 | 91,52 |
| TR-5-2 | 1 | 9,37 | 3 | 0,20 | 141 | 0,52 | 73,09 |
| TR-5-3 | 1 | 8,80 | 4 | 0,20 | 176 | 0,52 | 91,52 |
| | | | | | | | 1.251,04 |

**TRASVERSI**

| ELEMENTO | N. | L [m] | $H_{trave}$ [mm] | $l_{impiatt.sup}$ [mm] | $s_{impiatt.sup}$ [mm] | $l_{piattab.sup}$ [mm] | $s_{piattab.sup}$ [mm] | $h_{anima}$ [mm] | $s_{anima}$ [mm] | $l_{piattab.inf}$ [mm] | $s_{piattab.inf}$ [mm] | $l_{impiatt.inf}$ [mm] | $s_{impiatt.inf}$ [mm] | V [m³] | P [kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TESTATA | 8 | 3,50 | 800,00 | 0,00 | 0,00 | 300,00 | 30,00 | 740,00 | 20,00 | 300,00 | 30,00 | 0,00 | 0,00 | 0,69 | 5.407,08 |
| CORRENTI | 16 | 3,50 | 600,00 | 0,00 | 0,00 | 200,00 | 18,00 | 564,00 | 16,00 | 200,00 | 18,00 | 0,00 | 0,00 | 0,68 | 5.349,05 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 10.756,13 |

**IRRIGIDENTI TRASVERSALI TRASVERSI**

| ELEMENTO | N. | l [mm] | s [mm] | h [mm] | V [m³] | P [kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TESTATA | 16 | 140,00 | 20,00 | 740,00 | 0,03 | 260,24 |
| CORRENTI | 32 | 92,00 | 16,00 | 564,00 | 0,03 | 208,55 |
| | | | | | | 468,79 |

| RIEPILOGO DISTINTA CARPENTERIA METALLICA | | |
|---|---|---|
| TRAVI PRINCIPALI | 75.006,72 | [kg] |
| IRRIGIDENTI TRAVI PRINCIPALI | 7.005,59 | [kg] |
| PIOLATURA TRAVI PRINCIPALI | 1.251,04 | [kg] |
| TRASVERSI | 10.756,13 | [kg] |
| IRRIGIDENTI TRASVERSALI TRASVERSI | 468,79 | [kg] |
| **PESO TOTALE CARPENTERIA** | **94.488,28** | **[kg]** |
| INCREMENTO 5% PER SALDATURE, BULLONATURE E PIASTRA | 4.724,41 | [kg] |
| **PESO TOTALE ACCIAIO** | **99.212,69** | **[kg]** |
| SUPERFICIE TOTALE IMPALCATO | 542,87 | [mq] |
| **INCIDENZA TOTALE CARPENTERIA METALLICA** | **182,76** | **[kg/mq]** |

## 17.2 INCIDENZA DELLE ARMATURE

Di seguito sono riepilogate le incidenze delle armature relative ai differenti elementi in cemento armato:

- Soletta impalcato (comprensiva di cordolature laterali) → **85,00 kg/mc**
- Elevazione spalle (elevazione) → **130,00 kg/mc**
- Fondazioni spalle (zattera) → **150,00 kg/mc**
- Pali di fondazione spalle → **165,00 kg/ml**
- Baggioli → **280,00 kg/cadauno**