

**CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO
ITINERARIO MAGLIE - SANTA MARIA DI LEUCA**

S.S. N° 275 "DI S. MARIA DI LEUCA"

LAVORI DI AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. B DEL D.M. 5.11.2001

S.S. 16 dal km 981+700 al km 985+386 - S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000

1° Lotto: Dal Km 0+000 di prog. al Km 23+300 di prog.

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA283

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

I PROGETTISTI

Ing. Alberto SANCHIRICO – Progettista e Coordinatore
Ing. Simona MASCIULLO – Progettista

COLLABORATORI

Geom. Andrea DELL'ANNA
Geom. Massimo MARTANO
Geom. Giuseppe CALO'

IL COORDINATORE IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Alberto SANCHIRICO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianfranco PAGLIALUNGA

RESPONSABILE PROJECT MANAGEMENT E PROGETTI SPECIALI

Ing. Nicola MARZI

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO

Ing. Vincenzo MARZI

ATTIVITA' DI SUPPORTO

GEODATA
ENGINEERING

Alpina

NET ENGINEERING

I G INGEGNERI
& P GUADAGNUOLO
& PARTNERS

08 - OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI E PONTI

Cavalcavia (Comune di Surano)

CV 20 - al km 15+221,59

Relazione di calcolo strutturale

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|--|---------------------|----------------|------------------|-----------|
| PROGETTO | LIV. PROG. N. PROG. | T00_CV20_STR_RE01_D | | | |
| L0503A | D 1701 | CODICE ELAB. | T00CV20STRRE01 | D | - |
| D | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | DATA | Marzo 2022 | | |
| C | OTTEMPERANZA PARERE AdB Puglia – PARERE CSLLPP | DATA | Aprile 2019 | Ing. D. Neri | |
| B | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | DATA | Gennaio 2019 | Ing. C. Beltrami | |
| A | REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO | DATA | Giugno 2018 | Ing. C. Beltrami | |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | PREMESSA | 4 |
| 2. | NORMATIVE E RIFERIMENTI | 5 |
| 2.1 | Normative e standard | 5 |
| 2.2 | Software di calcolo | 6 |
| 3. | MATERIALI | 7 |
| 3.1 | Calcestruzzo | 7 |
| 3.1.1 | Magrone sottofondazione | 7 |
| 3.1.2 | Plinti di fondazione | 7 |
| 3.1.3 | Elevazione pile e spalle | 7 |
| 3.1.4 | Soletta, cordoli e predalles | 7 |
| 3.1.5 | Trave di impalcato | 8 |
| 3.2 | Acciaio | 8 |
| 3.2.1 | Acciaio per armatura lenta | 8 |
| 3.2.2 | Acciaio per armatura di precompressione | 8 |
| 3.3 | Legami costitutivi | 9 |
| 3.3.1 | Diagramma tensione-deformazione calcestruzzo | 9 |
| 3.3.2 | Diagramma tensione-deformazione acciaio ordinario per c.a. | 9 |
| 4. | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 10 |
| 5. | MODELLO NUMERICO | 11 |
| 6. | ANALISI DEI CARICHI | 14 |
| 6.1 | Carichi permanenti strutturali (G1) e non strutturali (G2) | 14 |
| 6.2 | Azioni verticali da traffico (Q1) | 14 |
| 6.3 | Azione del vento | 16 |
| 6.4 | Azione longitudinale di frenamento | 17 |
| 6.5 | Urto dei veicoli in svio | 17 |
| 6.6 | Ritiro | 18 |
| 6.7 | Variazioni termiche | 18 |
| 6.8 | Azione sismica | 18 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.8.1 | Vita nominale | 19 |
| 6.8.2 | Classe d'uso | 19 |
| 6.8.3 | Periodo di riferimento per l'azione sismica | 19 |
| 6.8.4 | Parametri di progetto | 19 |
| 6.8.5 | Categoria di sottosuolo | 22 |
| 6.8.6 | Condizioni topografiche | 22 |
| 6.8.7 | Spettro di risposta elastico in accelerazione | 23 |
| 6.8.8 | Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti orizzontali | 23 |
| 6.8.9 | Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti verticali | 25 |
| 6.8.10 | Spettri di progetto in accelerazione | 26 |
| 7. | COMBINAZIONI DI CARICO | 27 |
| 7.1 | Impalcato | 29 |
| 7.2 | Pile | 30 |
| 7.3 | Spalle | 31 |
| 8. | RISULTATI | 32 |
| 8.1 | ANALISI MODALE | 32 |
| 8.2 | DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI | 35 |
| 9. | VERIFICHE IMPALCATO | 36 |
| 9.1 | Caratteristiche trave in c.a.p. | 36 |
| 9.2 | Precompressione e armatura lenta | 37 |
| 9.3 | Perdite differite nel tempo | 38 |
| 9.4 | Caratteristiche sezioni di verifica | 39 |
| 9.5 | Diagramma tensioni sulla trave n.1 | 40 |
| 9.6 | Diagramma tensioni/aree armature trave n.1 | 41 |
| 9.7 | Verifica sezione n.1 – ascissa $x = 0,000\text{m}$ | 42 |
| 9.8 | Verifica sezione n.5 – ascissa $x = 1,232\text{m}$ | 44 |
| 9.9 | Verifica sezione n.10 – ascissa $x = 2,772\text{m}$ | 46 |
| 9.10 | Verifica sezione n.34 – ascissa $x = 10,164\text{m}$ | 48 |
| 9.11 | Verifica sezione n.51 – ascissa $x = 15,4\text{m}$ | 50 |
| 9.12 | Verifica a rottura della sezione di mezzeria | 52 |

| | |
|--|----|
| 9.13 Verifiche a taglio – SLU | 53 |
| 9.14 Verifiche a torsione – SLU | 54 |
| 9.15 Verifiche connettori trave-soletta | 55 |
| 9.16 Verifica all'urto dei veicoli in svio | 56 |
| 9.17 Verifica dello sbalzo della soletta (Sezione S ₁) | 57 |
| 9.18 Verifiche del cordolo (Sezione S ₂) | 60 |
| 9.19 Verifiche a deformazione | 62 |
| 9.20 Azioni sugli apparecchi di appoggio | 63 |
| 10. VERIFICHE PILA 1 | 64 |
| 10.1 Verifica Elevazione | 64 |
| 10.1.1 Verifica SLU-SLV | 64 |
| 10.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni | 66 |
| 10.1.3 Verifica SLE – Fessurazione | 67 |
| 10.2 Verifica fondazione | 68 |
| 10.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV | 69 |
| 10.2.2 Verifica a ribaltamento | 70 |
| 11. VERIFICHE PILA 2 | 72 |
| 11.1 Verifica Elevazione | 72 |
| 11.1.1 Verifica SLU-SLV | 72 |
| 11.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni | 74 |
| 11.1.3 Verifica SLE – Fessurazione | 75 |
| 11.2 Verifica fondazione | 76 |
| 11.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV | 77 |
| 11.2.2 Verifica a ribaltamento | 78 |
| 12. VERIFICA DELLE SPALLE | 80 |
| 12.1 Modello di calcolo | 80 |
| 12.2 Verifiche strutture SLU-SLV | 82 |
| 12.3 Verifica a ribaltamento | 84 |

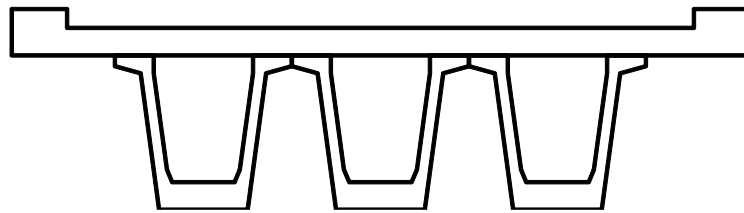
1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i calcoli relativi al ponte stradale CV20 - PRG.15+221.59 Cavalcavia comune di Surano ubicato alla progressiva 15+221.59, nell'ambito dei CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO MAGLIE - S.M. DI LEUCA.

L'opera di cui trattasi ha una lunghezza complessiva di 56m suddivisi in 3 campate la cui luce misurata tra gli appoggi per le travi è pari a 12m - 32m - 12m.

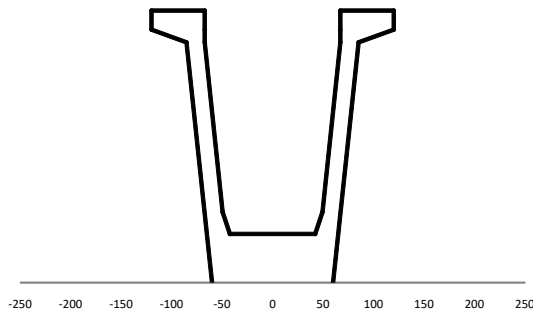
L'impalcato è costituito da 3 travi a cassone in cemento armato precompresso, di altezza 1,4m, disposte ad interasse di 2,4m e da una soletta in c.a. di larghezza complessiva 10m.

La soletta di spessore 25cm presenta una larghezza pavimentata carrabile di 8,5m e due cordoli esterni di larghezza 0,75m e altezza 17cm.

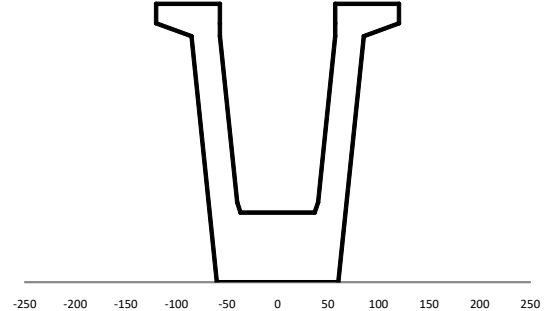


La trave è del tipo a cassone precompresso a fili aderenti e presenta due tipi di sezione: una sezione corrente di tipo A e una sezione ringrossata tipo B in corrispondenza degli appoggi per una lunghezza di 1m. La zona di raccordo tra le due sezioni misura una lunghezza di 1m.

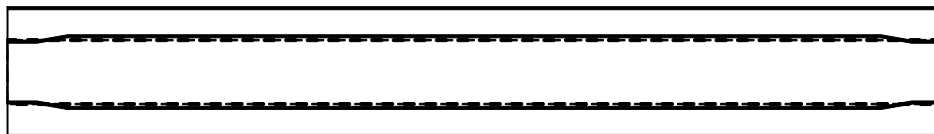
SEZIONE TIPO A



SEZIONE TIPO B



PIANTA



La precompressione della trave avviene per mezzo di 66 Trefoli stabilizzati del diametro di 6/10S¹, suddivisi in 4 gruppi disposti a diverse altezze della sezione.

Le verifiche di normativa riguardanti l'impalcato sono state eseguite sulla trave maggiormente caricata nel rispetto delle N.T.C.2018.

2. NORMATIVE E RIFERIMENTI

2.1 Normative e standard

Il dimensionamento delle opere in progetto è condotto in riferimento alle attuali normative e di seguito elencate.

| | | |
|------|---|--|
| [1] | D.M. 17/01/2018, n.8 | Norme Tecniche per le costruzioni |
| [2] | Circ. Min. 21 gennaio 2019, n. 7 | Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 |
| [3] | Legge 05/11/1971, n.1086 | Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica” e relative istruzioni (Circ. LL.PP. 14/02/1974, n. 11951) |
| [4] | Legge 02/02/1974, n.64 | Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche |
| [5] | UNI EN 1990 | Basis of structural design |
| [6] | UNI EN 1991-1-1 | Actions on structures - General actions - Densities, self-weight and imposed loads |
| [7] | UNI EN 1991-1-4 | Actions on structures - General actions - Wind actions |
| [8] | UNI EN 1991-1-5 | Actions on structures - General actions - Thermal actions |
| [9] | UNI EN 1992-1-1 | Design of concrete structures -General - Common rules for building and civil engineering structures |
| [10] | UNI EN 1992-1-2 | Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design |
| [11] | UNI EN 1992-2 | Design of concrete structures -Bridges |
| [12] | UNI EN 1993-1-1 | Design of steel structures- General rules and rules for buildings |
| [13] | UNI EN 1993-1-8 | Design of steel structures- Design of Joints |
| [14] | UNI EN 1994-1-1 | Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for buildings |
| [15] | UNI EN 1994-2 | Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for bridges |
| [16] | UNI EN 1997-1 | Geotechnical design - General rules |
| [17] | UNI EN 1998-1 | Design provisions for earthquake resistance of structures - General rules, seismic actions and rules for buildings |
| [18] | UNI EN 1998-2 | Design of structures for earthquake resistance - Bridges |
| [19] | UNI EN 1998-5 | Design of structures for earthquake resistance – Foundations, retaining structures and geotechnical aspects |

-
- | | | |
|------|--|---|
| [20] | Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale | Linee guida sul calcestruzzo strutturale |
| [21] | UNI-EN 206-1 | Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità |
| [22] | UNI-EN 11104 | Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1 |

2.2 Software di calcolo

- | | | |
|-----|---|--|
| [1] | SAP2000, Ver. 14.0.0 sviluppato dalla società Computers and Structures, Inc. (1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA) | Il programma, codice di calcolo ad elementi finiti in campo statico e dinamico lineare/non lineare, consente l'analisi strutturale per fasi, la modellazione della precompressione tramite tracciato cavi 3D, il calcolo degli effetti dei carichi mobili tramite linee/superfici d'influenza. |
| [2] | SAP2000, Ver. 20.0.0 sviluppato dalla società Computers and Structures, Inc. (1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA) | Il programma, codice di calcolo ad elementi finiti in campo statico e dinamico lineare/non lineare, consente l'analisi strutturale per fasi, la modellazione della precompressione tramite tracciato cavi 3D, il calcolo degli effetti dei carichi mobili tramite linee/superfici d'influenza. |

3. MATERIALI

3.1 Calcestruzzo

3.1.1 Magrone sottofondazione

| | | | |
|---|----------|--------|-------------------|
| Classe del calcestruzzo | | C12/15 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | R_{ck} | 15 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC0 | - |

3.1.2 Plinti di fondazione

| | | | |
|---|------------|--------|-------------------|
| Classe del calcestruzzo | | C28/35 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | R_{ck} | 35 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC2 | - |
| Gruppi di esigenze | | A | - |
| Rapporto massimo acqua/cemento | | 0.55 | - |
| Contenuto minimo di cemento | | 300 | kg/mc |
| Classe di consistenza (Slump) | | S4 | - |
| Dimensione massima dell'aggregato | | 32 | mm |
| Copriferro nominale | | 45 | mm |
| Modulo elastico | $E_{cm} =$ | 32308 | N/mm ² |

3.1.3 Elevazione pile e spalle

| | | | |
|---|------------|---------|-------------------|
| Classe del calcestruzzo | | C32/40 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | R_{ck} | 40 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC4+XD1 | - |
| Gruppi di esigenze | | B | - |
| Rapporto massimo acqua/cemento | | 0.50 | - |
| Contenuto minimo di cemento | | 340 | kg/mc |
| Classe di consistenza (Slump) | | S4 | - |
| Dimensione massima dell'aggregato | | 25 | mm |
| Copriferro nominale | | 35 | mm |
| Modulo elastico | $E_{cm} =$ | 33346 | N/mm ² |

3.1.4 Soletta, cordoli e predalles

| | | | |
|---|------------|---------|-------------------|
| Classe del calcestruzzo | | C35/45 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | R_{ck} | 45 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC3+XD1 | - |
| Gruppi di esigenze | | B | - |
| Rapporto massimo acqua/cemento | | 0.45 | - |
| Contenuto minimo di cemento | | 360 | kg/mc |
| Classe di consistenza (Slump) | | S4 | - |
| Dimensione massima dell'aggregato | | 25 | mm |
| Copriferro nominale | | 35 | mm |
| Modulo elastico | $E_{cm} =$ | 34077 | N/mm ² |

3.1.5 Trave di impalcato

| | | | |
|---|------------|---------|-------------------|
| Classe del calcestruzzo | | C45/55 | |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | R_{ck} | 55 | N/mm ² |
| Classe di esposizione | | XC4+XD1 | - |
| Gruppi di esigenze | | B | |
| Rapporto massimo acqua/cemento | | 0.45 | - |
| Contenuto minimo di cemento | | 360 | kg/mc |
| Classe di consistenza (Slump) | | S4 | - |
| Dimensione massima dell'aggregato | | 25 | mm |
| Copriferro nominale | | 35 | mm |
| Modulo elastico | $E_{cm} =$ | 36283 | N/mm ² |

3.2 Acciaio

Per l'acciaio da carpenteria si assume il seguente peso per unità di volume: $\gamma_{Acciaio} = 78.50 \text{ kN/m}^3$

3.2.1 Acciaio per armatura lenta

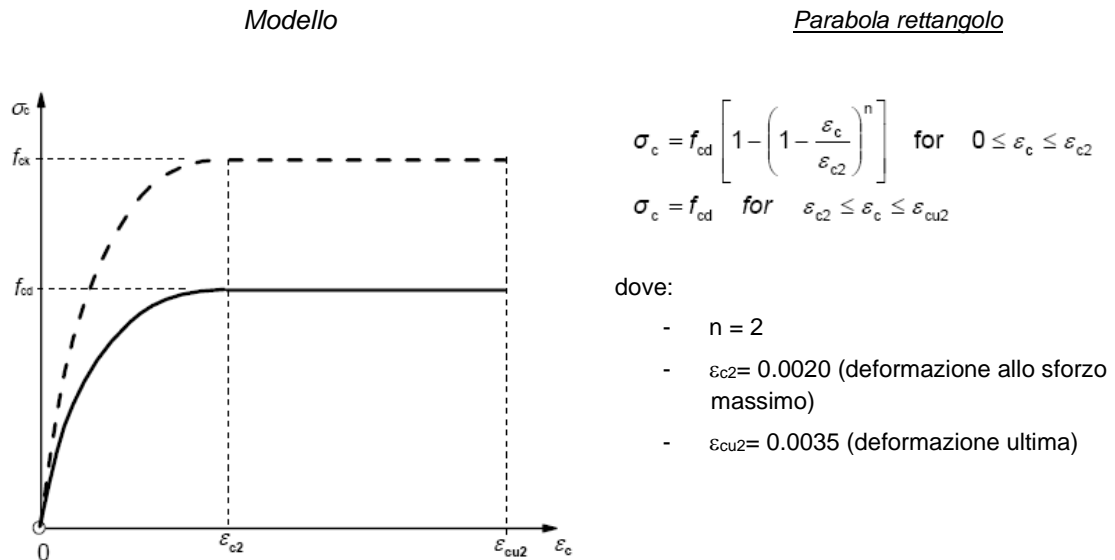
| | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------------|
| Classe di acciaio | | B450 | |
| Tensione caratteristica di rottura | f_{tk} | 540 | N/mm ² |
| Tensione caratteristica di snervamento | f_{yk} | 450 | N/mm ² |
| Resistenza di progetto | f_{yd} | 391.3 | N/mm ² |
| Sovra-resistenza | f_{tk} / f_{yk} | ≥ 1.15 | - |
| Modulo di elasticità | E_s | 210000 | N/mm ² |

3.2.2 Acciaio per armatura di precompressione

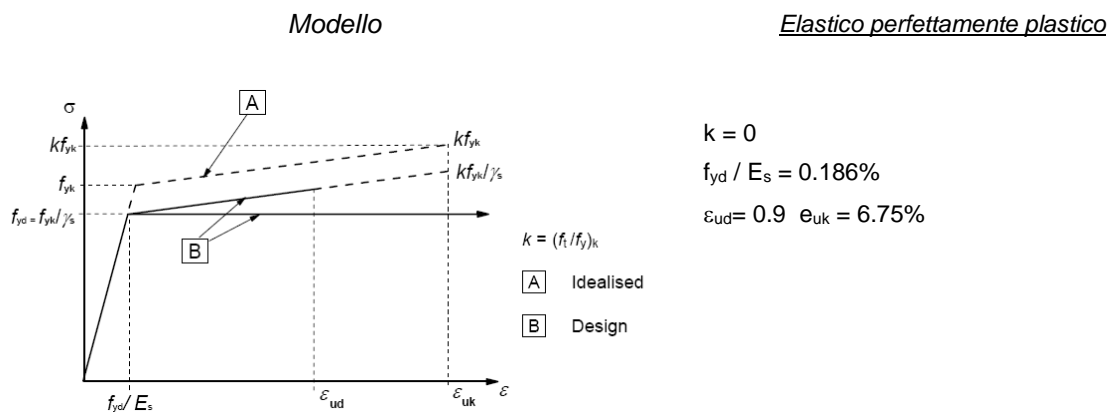
| | | | |
|---|----------------|--------|-------------------|
| Tensione caratteristica al'1% di deformazione totale | f_{yk} | 1670 | N/mm ² |
| Tensione di rottura caratteristica | f_{tk} | 1860 | N/mm ² |
| Modulo di elasticità | E_s | 206000 | N/mm ² |
| Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{y,k} / 1.15$ | f_{yd} | 1452.2 | N/mm ² |
| Tensione iniziale all'atto tesatura $\sigma_{spi} < 0.90 f_{p(0.1)k}$ $\sigma_{spi} < 0.80 f_{ptk}$ | σ_{spi} | <1488 | N/mm ² |
| Tensione massima nell'acciaio per combinazione rara $\sigma_{sp} < 0.80 f_{p(0.1)k}$ | σ_{sp} | <1336 | N/mm ² |

3.3 Legami costitutivi

3.3.1 Diagramma tensione-deformazione calcestruzzo



3.3.2 Diagramma tensione-deformazione acciaio ordinario per c.a.



Per i calcoli agli stati limite d'esercizio (SLE) a "tempo infinito", si considera un coefficiente di omogeneizzazione per l'acciaio $n=15$.

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| TIPO CALCESTRUZZO TRAVE - C45/55 | | C45/55 | $s < 50\text{mm}$ | |
|--|-------------|---------|-------------------|-------------|
| Resistenza cubica caratteristica | | | $R_{ck} =$ | 55,000 Mpa |
| Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$ | (11.2.1) | | $f_{ck} =$ | 45,000 Mpa |
| Resistenza cilindrica caratteristica all'atto della tesatura $f_{ckj} = 0.83 R_{ckj}$ | (11.2.1) | | $f_{ckj} =$ | 45,000 Mpa |
| Resistenza cilindrica media $f_{cm} = f_{ck} + 8$ | (11.2.2) | | $f_{cm} =$ | 53,000 Mpa |
| Resistenza cilindrica media all'atto della tesatura $f_{cmj} = f_{ckj} + 8$ | (11.2.2) | | $f_{cmj} =$ | 53,000 Mpa |
| Resistenza media a trazione semplice $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$ | (11.2.3a/b) | | $f_{ctm} =$ | 3,795 Mpa |
| Resistenza media a trazione semplice all'atto della tesatura $f_{ctmj} = 0.30 f_{ckj}^{2/3}$ | (11.2.3a/b) | | $f_{ctmj} =$ | 3,795 Mpa |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$ | (11.2.3a/b) | | $f_{ctk} =$ | 2,657 Mpa |
| Resistenza media a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.20 f_{ctm}$ | (11.2.4) | | $f_{ctm} =$ | 4,555 Mpa |
| Resistenza caratteristica a trazione per flessione $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$ | (11.2.4) | | $f_{ctk} =$ | 3,188 Mpa |
| Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza $f_{bk} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$ | (4.1.7) | | $f_{bk} =$ | 5,978 Mpa |
| Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$ | (11.2.5) | | $E_{cm} =$ | 36283,2 Mpa |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice $f_{ctd} = f_{ctk}/1.5$ | (4.1.5) | | $f_{ctd} =$ | 1,771 Mpa |
| Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck}/1.5$ | (4.1.3) | | $f_{cd} =$ | 25,500 Mpa |
| Resistenza di calcolo tangenziale di aderenza $f_{bd} = f_{bk}/1.5$ | (4.1.6) | | $f_{bd} =$ | 3,985 Mpa |
| Tensione massima di compressione nel cls per comb. Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ | (4.1.15) | | $\sigma_c <$ | 27,000 Mpa |
| Tensione massima di compressione nel cls per comb. quasi perm. $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ | (4.1.16) | | $\sigma_c <$ | 20,250 Mpa |
| Tensione massima di compressione nel c.a.p. all'atto della tesatura $\sigma_c < 0.70 f_{ckj}$ | (4.1.47) | | $\sigma_c <$ | 31,500 Mpa |
| Tensione massima di trazione nel c.a.p. in esercizio $\sigma_t < f_{ctm}/1.2$ | | | $\sigma_t <$ | 3,163 Mpa |
| Tensione massima di trazione nel c.a.p. all'atto della tesatura $\sigma_{tj} < f_{ctmj}/1.2$ | | | $\sigma_{tj} <$ | 3,163 Mpa |
| } SLU | | | | |
| } SLE | | | | |
| TIPO CALCESTRUZZO SOLETTA - C35/45 | | C35/45 | $s < 50\text{mm}$ | |
| Resistenza cubica caratteristica | | | $R_{ck} =$ | 45,000 Mpa |
| Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$ | (11.2.1) | | $f_{ck} =$ | 35,000 Mpa |
| Resistenza cilindrica media $f_{cm} = f_{ck} + 8$ | (11.2.2) | | $f_{cm} =$ | 43,000 Mpa |
| Resistenza media a trazione semplice $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$ | (11.2.3a/b) | | $f_{ctm} =$ | 3,210 Mpa |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$ | (11.2.3a/b) | | $f_{ctk} =$ | 2,247 Mpa |
| Resistenza media a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.20 f_{ctm}$ | (11.2.4) | | $f_{ctm} =$ | 3,852 Mpa |
| Resistenza caratteristica a trazione per flessione $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$ | (11.2.4) | | $f_{ctk} =$ | 2,696 Mpa |
| Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza $f_{bk} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$ | (4.1.7) | | $f_{bk} =$ | 5,056 Mpa |
| Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$ | (11.2.5) | | $E_{cm} =$ | 34077,1 Mpa |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice $f_{ctd} = f_{ctk}/1.5$ | (4.1.5) | | $f_{ctd} =$ | 1,498 Mpa |
| Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck}/1.5$ | (4.1.3) | | $f_{cd} =$ | 19,833 Mpa |
| Resistenza di calcolo tangenziale di aderenza $f_{bd} = f_{bk}/1.5$ | (4.1.6) | | $f_{bd} =$ | 3,370 Mpa |
| Tensione massima di compressione nel cls per comb. Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ | (4.1.15) | | $\sigma_c <$ | 21,000 Mpa |
| Tensione massima di compressione nel cls per comb. quasi perm. $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ | (4.1.16) | | $\sigma_c <$ | 15,750 Mpa |
| } SLU | | | | |
| } SLE | | | | |
| TIPO ACCIAIO ARMATURA LENTA - B450C | | B450C | | |
| Tensione di snervamento caratteristica | | | $f_{yk} =$ | 450,0 Mpa |
| Tensione di rottura caratteristica | | | $f_{tk} =$ | 540,0 Mpa |
| Modulo elastico E_s | | | $E_s =$ | 206000 Mpa |
| Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15$ | (4.1.5) | | $f_{yd} =$ | 391,30 Mpa |
| Tensione massima nell'acciaio per comb. rara $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ | (4.1.17) | | $\sigma_s <$ | 360,00 Mpa |
| TIPO ACCIAIO ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE | | Trefoli | | |
| Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale | | | $f_{yk} =$ | 1670,0 Mpa |
| Tensione di rottura caratteristica | | | $f_{tk} =$ | 1860,0 Mpa |
| Modulo elastico E_s | | | $E_s =$ | 206000 Mpa |
| Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15$ | (4.1.5) | | $f_{yd} =$ | 1452,2 Mpa |
| Tensione iniziale all'atto della tesatura $\sigma_{spi} < 0.90 f_{pl(0.1)k}$ $\sigma_{spi} < 0.80 f_{ptk}$ | (4.1.49) | | $\sigma_{spi} <$ | 1488,0 Mpa |
| Tensione massima nell'acciaio per comb. rara $\sigma_{sp} < 0.80 f_{pl(0.1)k}$ | (4.1.17) | | $\sigma_{sp} <$ | 1336,0 Mpa |

5. MODELLO NUMERICO

Per l'intera struttura è stato definito un modello numerico rappresentativo con il programma di calcolo agli elementi finiti "Sap2000" della Computer and Structures Inc.

I vari elementi costituenti il modello sono i seguenti:

- Travi e soletta - Grigliato di aste costituite da elementi frame aventi l'inerzia delle sezioni costituita dalle travi (fase 1) e dalla soletta omogeneizzata (fase 2 e 3). Su ciascuna asta sono stati assegnati i carichi precedentemente descritti e le linee di transito su cui muovono le azioni dovute al traffico dei veicoli.
- Traversi - Aste continue costituite da elementi frame aventi le caratteristiche inerziali dei profilati angolari costituenti i vari elementi dei diaframmi.
- Soletta - Considerata solo per gli effetti trasversali, è modellata mediante aste di larghezza 1.0 m. Per l'analisi modale e l'analisi dinamica con spettro di risposta, al fine di simulare il comportamento rigido di diaframma della soletta, questa è stata modellata con elementi shell.
- Appoggi - Sono schematizzati con elementi tipo "link"
- Pile - sono state modellate con aste verticali che rappresentano le pile propriamente dette. In particolare l'asta che le rappresenta risulta libera per la parte in elevazione e vincolata a terra con un vincolo di incastro.
- Spalle - costituiscono un semplice vincolo d'appoggio per l'intero modello.

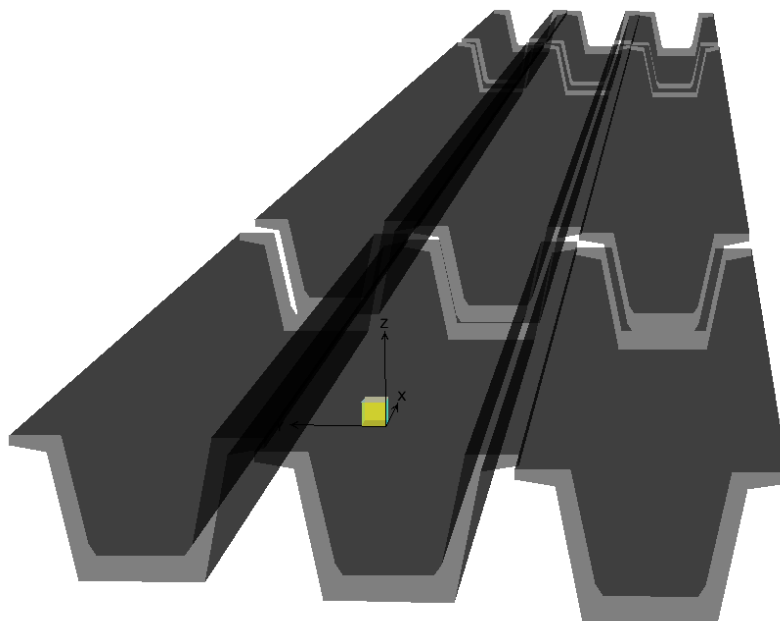


Figura 5-1: Modello di calcolo: dettaglio travi

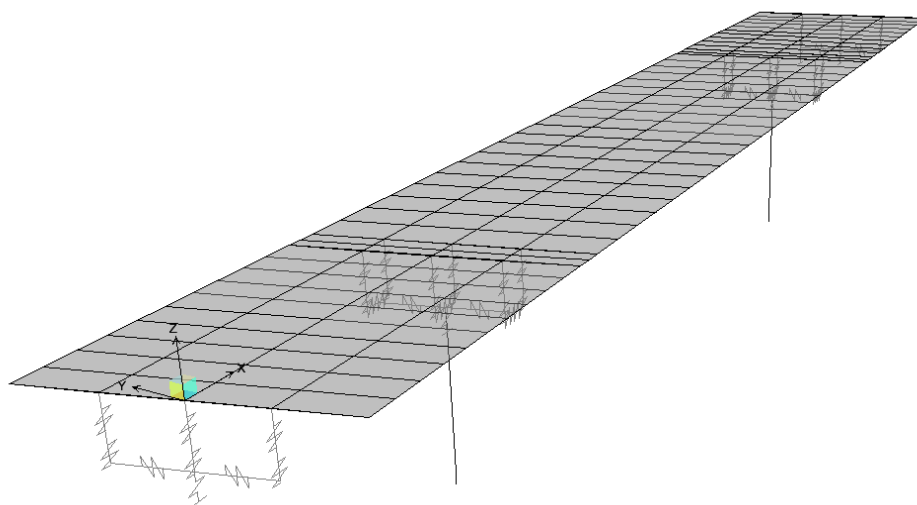


Figura 5-2: Modello di calcolo: con elementi shell soletta in vista

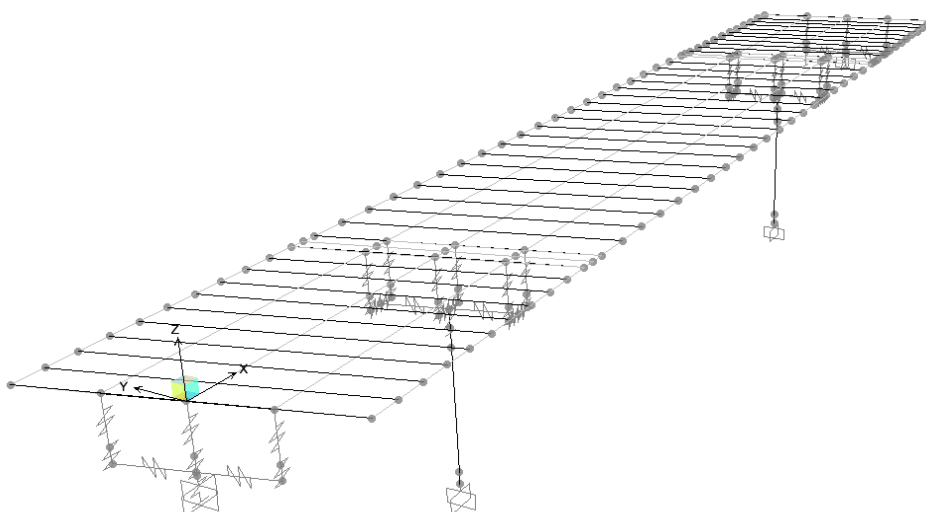


Figura 5-3: Modello di calcolo: con elementi shell soletta non in vista

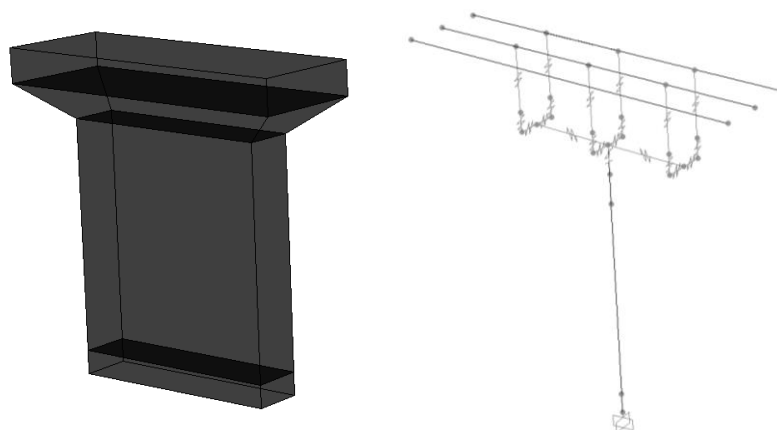


Figura 5-4: Modello di calcolo: dettaglio pila

Per tener conto delle fasi costruttive, sono state definite all'interno del modello 4 fasi con tre tipi di sezioni reagenti e relativi carichi:

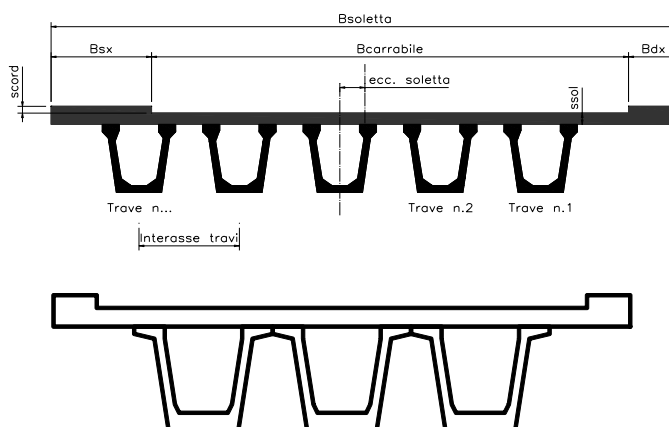
0. Fase – Sono presenti le sole sottostrutture (pile e spalle); Carichi agenti: attrito vincoli. e peso proprio pila
1. Fase - Sezione reagente: Sezione reagente: sole travi; Carichi agenti: pesi propri e getto dei traversi e della soletta fluida.
2. Fase - Sezione reagente: trave con soletta collaborante omogeneizzata e diaframmi; Carichi agenti: carichi permanenti e mobili.
3. Fase sismica - Sezione reagente: travi e traversi (frame) con soletta (shell); Carichi agenti: analisi modale e analisi dinamica con spettro di risposta, ritiro, termica, frenatura, centrifuga, vento.

6. ANALISI DEI CARICHI

6.1 Carichi permanenti strutturali (G1) e non strutturali (G2)

Il carico dovuto al peso proprio dei vari elementi strutturali che compongono il viadotto viene assegnato, nel modello numerico così come segue:

| | |
|---|---------|
| B = larghezza soletta = | 10.00 m |
| s = spessore soletta = | 0.25 m |
| Lunghezza campata = | 30.8 m |
| n. travi (max 30) = | 3 |
| Interasse travi = | 2.40 m |
| | |
| ecc. asse soletta-asse travi (>0 vs dx) = | 0.00 m |
| Bdx = Larghezza cordolo dx = | 0.75 m |
| Bsx = Larghezza cordolo sx = | 0.75 m |
| scord = Altezza cordolo = | 0.17 m |
| Bcarrabile = Larghezza pavimentazione = | 8.50 m |
| ecc. pavimentazione-soletta (>0 vs dx)= | 0.00 m |
| Brim. = Larghezza non caricata = | 2.50 m |



Carichi permanenti e accidentali calcolati in automatico

Carichi ferroviari NTC2008

Elevato standard manutentivo

ANALISI DEI CARICHI SULLA TRAVE 1

TRAVE 1

ANALISI DEI CARICHI SULL'IMPALCATO

| | |
|--|------------|
| Peso proprio trave in c.a.p. | 21.30 KN/m |
| Peso proprio soletta in c.a. | 21.77 KN/m |
| Carico permanente <input checked="" type="checkbox"/> Soletta e perm unif. sulle travi | 19.23 KN/m |

| | |
|------------------------------|------------|
| Peso proprio trave in c.a.p. | 63.90 KN/m |
| Peso proprio soletta in c.a. | 62.50 KN/m |

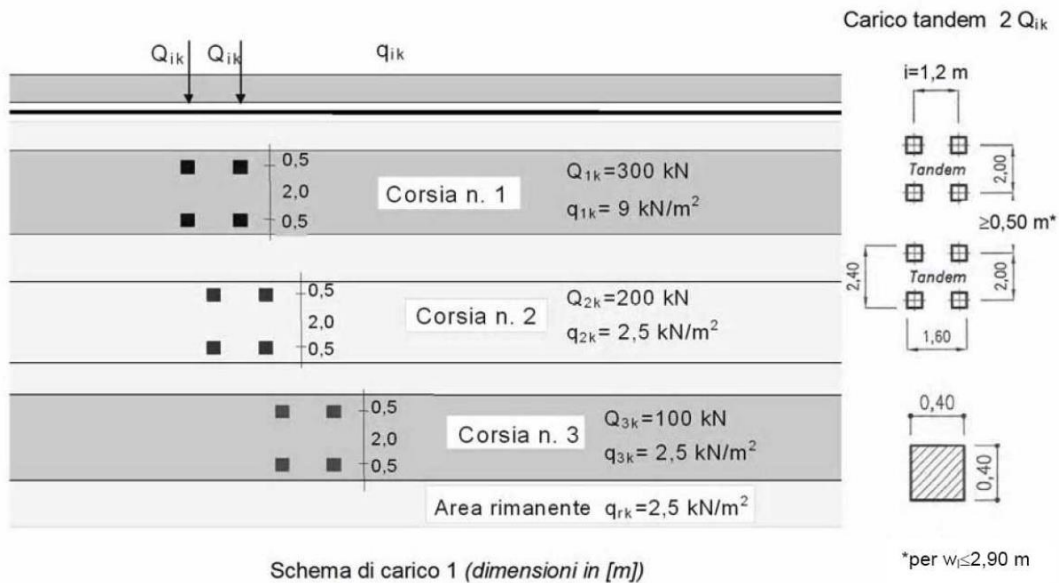
| | |
|----------------------------------|------------|
| Peso proprio pavimentazione | 4.00 KN/mq |
| Peso sicurvia | 2.50 KN/m |
| Peso arredi esterni | 6.15 KN/m |
| Larghezza della corsia di carico | 3.00 m |

6.2 Azioni verticali da traffico (Q1)

L'analisi dei carichi mobili viene effettuata in accordo alle indicazioni delle NTC18.

Le azioni variabili da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dallo schema di carico 1, descritto nel seguito:

- corsia n.1 costituita da un automezzo convenzionale Q1k di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse delle ruote in senso trasversale di 2.00 m e un carico ripartito q1k di 9 kN/m²;
- corsia n.2, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN (automezzo convenzionale Q2k) e 2.5 kN/m² (carico ripartito q2k);
- corsia n.3, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN (automezzo convenzionale Q3k) e 2.5 kN/m² (carico ripartito q3k);
- zona rimanente, occupata da una colonna di carico qRk = 2.5 kN/m² nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.



Sono stati considerati i carichi mobili previsti dalla vigente normativa per ponti di prima categoria, disposti nella configurazione che massimizza le sollecitazioni sulla trave di progetto.

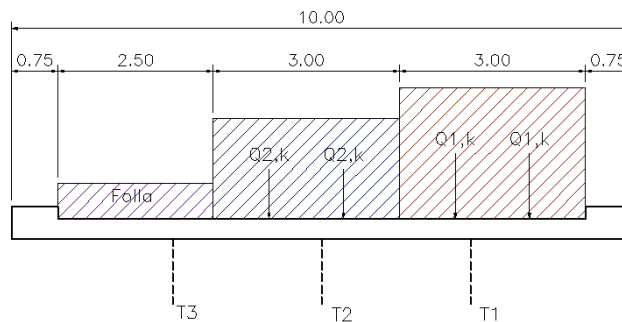


Figura 6-1 – Disposizione eccentrica dei carichi mobili

La ripartizione dei carichi mobili sul cassoncino di bordo è stata effettuata secondo il modello di calcolo FEM.

Il modello di calcolo utilizzato è implementato nel programma di analisi strutturale agli elementi finiti Sap2000; tale codice di calcolo permette di costruire le linee di influenza relative alle distinte sollecitazioni per ciascun punto della struttura.

6.3 Azione del vento

AZIONI DEL VENTO (§3.3 NTC18)

Regione **Puglia** Zona **3**
 Altitudine sul livello del mare $a_s = 92.0$ [m]

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a

| Zona | Descrizione | $v_{b,0}$ [m/s] | a_0 [m] | k_a |
|------|---|-----------------|-----------|-------|
| 1 | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25 | 1000 | 0,40 |
| 2 | Emilia Romagna | 25 | 750 | 0,45 |
| 3 | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria) | 27 | 500 | 0,37 |
| 4 | Sicilia e provincia di Reggio Calabria | 28 | 500 | 0,36 |
| 5 | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) | 28 | 750 | 0,40 |
| 6 | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) | 28 | 500 | 0,36 |
| 7 | Liguria | 28 | 1000 | 0,54 |
| 8 | Provincia di Trieste | 30 | 1500 | 0,50 |
| 9 | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto | 31 | 500 | 0,32 |



Figura 3.3.1 - Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

3.3.1 Velocità base di riferimento

Velocità base di riferimento al livello del mare $v_{b,0} = 27.0$ [m/s]
 parametri tabella 3.I $a_0 = 500$ [m]
 parametri tabella 3.I $k_a = 0.37$ [1/s]
 Coefficiente di altitudine $c_a = 1.0$
 $c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$; $c_a = 1 + k_a(a_s/a_0 - 1)$ per $a_s > a_0$
 Velocità base di riferimento $v_b = v_{b,0} c_a = 27.0$ [m/s]

3.3.2 Velocità di riferimento

Periodo di ritorno $T_R = 50$ [anni]
 Coefficiente di ritorno $c_r = 1.00$
 $c_r = 0.75 (1 - 0.2 \ln(-\ln(1 - 1/T_R)))^{0.5}$
 Velocità di riferimento di progetto $v_r = v_b c_r = 27.0$ [m/s]

3.3.6 Pressione cinetica di riferimento

Pressione cinetica di riferimento $q_r = 0.5 \rho v_r^2$
 $\rho_{aria} = 1.25$ [kg/m³]
 $q_p = 0.46$ [kN/m²]

3.3.7 Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità di terreno **B**
 Distanza dalla costa e altitudine **10/30 km**
 Categoria di esposizione del sito **III**
 Coefficiente di topografia $c_t = 1.0$
 Fattore di terreno $k_r = 0.20$
 Lunghezza di rugosità $z_0 = 0.10$ [m]
 Altezza minima $z_{min} = 5.00$ [m]
 Coefficiente di esposizione $c_e(z) = 2.14$ [m]
 $c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) (7 + c_t \ln(z/z_0))$ per $z > z_{min}$
 $c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z \leq z_{min}$
 Coefficiente di forma (o coefficiente aereodinamico) $c_p = 1.4$
 Coefficiente dinamico $c_d = 1.0$

3.3.4 Pressione del vento $p(z) = q_r c_e c_p c_d$ **$p(z) = 1.37$ (kN/m²)**

6.4 Azione longitudinale di frenamento

AZIONI LONGITUDINALI (§5.1.3.5 NTC18)

5.1.3.5 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE: q_3

La forza di frenamento o di accelerazione q_3 è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo w_1 la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

| | | | |
|---|------------|------------|----------------------|
| Azione longitudinale di frenamento o di accelerazione | $q_3 =$ | 511 | [kN] |
| Larghezza della corsia | $w_1 =$ | 3.0 | [m] |
| Carico concentrato da traffico corsia n.1 | $Q_{1k} =$ | 300 | [kN] |
| Carico distribuito da traffico corsia n.1 | $q_{1k} =$ | 9.00 | [kN/m ²] |
| Lunghezza della zona caricata | $L =$ | 56.0 | [m] |

6.5 Urto dei veicoli in svio

Si tiene conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN. Essa è considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 1.0 m sopra il livello del piano di marcia.

6.6 Ritiro

| RITIRO DIFFERENZIALE DELLA SOLETTA | | <input checked="" type="checkbox"/> Ritiro soletta | |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Resistenza cubica caratteristica | $R_{ck} = 45.0$ | Mpa | $t_s = 0$ gg |
| Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$ | $f_{ck} = 35.0$ | Mpa | $t = 500000$ gg |
| umidità 75 % | $\epsilon_{ca} = -6.25E-05$ | | $\beta(\infty) = 0.99968$ |
| $A_c = 6000$ cm ² | $\epsilon_{cd} = -2.93E-04$ | | $\epsilon_{cd}(\infty) = -2.34E-04$ |
| $u = 480$ cm | $k_N = 0.800$ | | |
| $h_0 = 2 A_c / u = 250$ mm | $\epsilon_{cd,\infty} = -2.35E-04$ | | |
| | | Riduzione per additivi | Ritiro di calcolo |
| | | ↓ | ↓ |
| Deformazione totale da ritiro a $t = \infty$ | $\epsilon_{cs}(\infty) = -2.97E-04$ | 60% | -1.78E-04 |

La forza di ritiro da applicarsi nel baricentro della soletta nelle zone non fessurate vale:

$$N = \epsilon_{cs} E_{rid} A_c = 1415.53 \text{ KN}$$

dove: $E_{rid} = E_{cm} / (1 + \chi\phi) = 13242 \text{ Mpa}$ $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 34077$

$\chi = 0.80$ $\phi = 1.967$

Il ritiro pertanto si traduce in una forza e in un momento applicato nel baricentro della sezione trave+soletta.

$y_g = 0.929$ $N_{ritiro} = -1415.53 \text{ KN}$
 $e = 0.596$ $M_{ritiro} = 843.79 \text{ KNm}$

TRAVE DA CALCOLARE TRAVE 1 ▼

Il ritiro differenziale della soletta rispetto alla trave è mitigato da una quota parte che la trave continua ad esaurire successivamente al getto della soletta. Volendo tener in conto questa evenienza si riduce il ritiro (60%) alla stregua di quanto si farebbe con l'adozione di un additivo. Tuttavia si conferma in questa sede la necessità di prevedere sempre additivi antiritiro in soletta per migliorarne notevolmente la durabilità.

6.7 Variazioni termiche

Per quanto riguarda gli effetti della temperatura sulla struttura sono state valutate le seguenti condizioni di carico:

Variazione termica differenziale sull'altezza della trave: si considera alternativamente (a seconda dell'effetto più gravoso) un gradiente termico di $\pm 10^\circ\text{C}$.

Variazione termica uniforme sull'altezza della trave: si considera una variazione termica di $\pm 30^\circ\text{C}$.

6.8 Azione sismica

In sede di revisione del presente Progetto Definitivo si è valutata la categoria di sottosuolo secondo le nuove indicazioni ($V_{s,eq}$) del D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018. In questa opera la categoria di sottosuolo determinata con i criteri ($V_{s,30}$) della precedente norma passa da categoria A a categoria B. Poiché la variazione in termini di PGA è modesta e non dimensionante, l'aggiornamento del calcolo sismico viene demandato al Progetto Esecutivo.

6.8.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Come vita nominale si assume $V_N = 50$ anni.

6.8.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità..... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico."

Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a $C_U = 2.0$.

6.8.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento V_R , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV e pari al 5% nel caso dello stato limite SLC.

6.8.4 Parametri di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC18, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;

- F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC18 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e PVR sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

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

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC08.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito a_g è espressa in g/10; F_0 è adimensionale, T_C^* è espresso in secondi.

Nel seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri che caratterizzano l'opera in oggetto:

6.8.5 Categoria di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento (tab 3.2.II NTC18):

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

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|--|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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 | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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 | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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 | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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 | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

La classificazione si effettua sulla base dei valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità e sulla base della resistenza penetrometrica dinamica equivalente $NSPT_{,30}$.

Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano d'imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

In base alle indagini geologico - tecniche effettuate i terreni di fondazione interessati dall'opera oggetto di questa relazione possono essere classificati nella categoria "A".

6.8.6 Condizioni topografiche

Per le condizioni topografiche si fa riferimento alla seguente classificazione (tab 3.2.III NTC18):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

La morfologia del territorio in cui ricade l'opera, è tale per cui ricade nella categoria topografica T1.

6.8.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

6.8.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T \leq T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T \leq T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \\ T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Inoltre:

- S : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_S \times S_T$; S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti;
- η : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5%, mediante la relazione:
$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$
 dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- F_0 : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

| Categoria sottosuolo | S_s | C_c |
|----------------------|---|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
|-----------------------|---|-------|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

- T_C : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:
 $T_C = C_c \cdot T_C^*$; dove C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- T_B : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
 $T_B = T_C / 3$;
- T_D : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro,

espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

6.8.9 Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti verticali

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

nelle quali T e S_{ve} sono rispettivamente il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale verticale, mentre F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di a_g , F_o , S , η sono quelli già definiti per le componenti orizzontali; i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , sono invece quelli riportati nella tabella seguente.

Tab. 3.2.VI - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

| Categoria di sottosuolo | S_s | T_B | T_C | T_D |
|-------------------------|-------|--------|--------|-------|
| A, B, C, D, E | 1,0 | 0,05 s | 0,15 s | 1,0 s |

6.8.10 Spettri di progetto in accelerazione

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

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0.087 g |
| F_{0^*} | 2.569 |
| T_C^* | 0.485 s |
| S_S | 1.000 |
| C_C | 1.000 |
| S_T | 1.000 |
| q | 1.000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1.000 |
| η | 1.000 |
| T_B | 0.162 s |
| T_C | 0.485 s |
| T_D | 1.947 s |

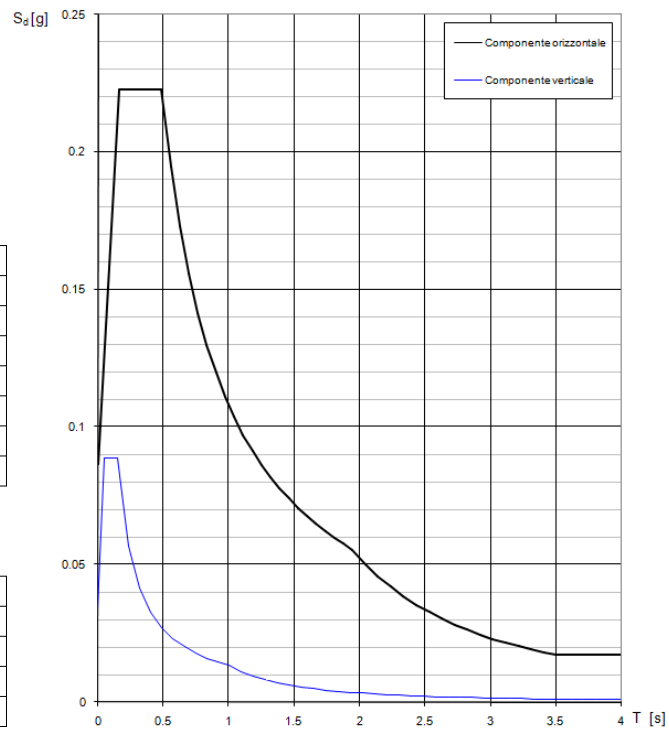


Figura 6-4: Spettri di progetto SLV

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLC |
|--------------|---------|
| a_g | 0.115 g |
| F_{0^*} | 2.596 |
| T_C^* | 0.519 s |
| S_S | 1.000 |
| C_C | 1.000 |
| S_T | 1.000 |
| q | 1.000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1.000 |
| η | 1.000 |
| T_B | 0.173 s |
| T_C | 0.519 s |
| T_D | 2.062 s |

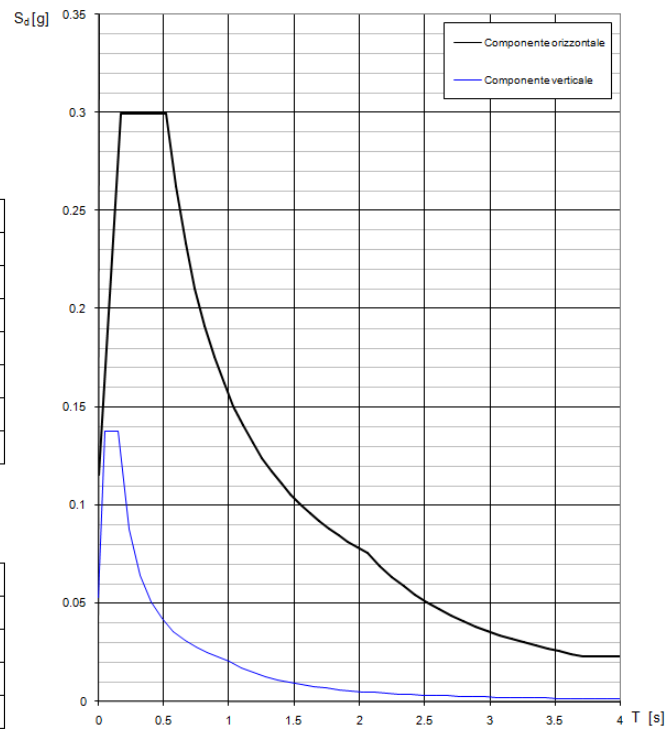


Figura 6-5: Spettri di progetto SLC

7. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, in osservanza ai §5.1.3.14 e §5.2.3 delle NTC18, si dovranno considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV, combinate considerando gli stati limite di esercizio, gli stati limite ultimi e le condizioni sismiche.

Tab. 5.1.IV - Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

| Gruppo di azioni | Carichi sulla superficie carrabile | | | | | Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili |
|------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|--|
| | Carichi verticali | | | Carichi orizzontali | | Carichi verticali |
| | Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6) | Veicoli speciali | Folla (Schema di carico 5) | Frenatura | Forza centrifuga | Carico uniformemente distribuito |
| 1 | Valore caratteristico | | | | | Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m ² |
| 2a | Valore frequente | | | Valore caratteristico | | |
| 2b | Valore frequente | | | | Valore caratteristico | |
| 3 (*) | | | | | | Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ² |
| 4 (**) | | | Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ² | | | Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ² |
| 5 (***) | Da definirsi per il singolo progetto | Valore caratteristico o nominale | | | | |

La Tab. 5.1.V fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, il significato dei simboli è il seguente:

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

I valori dei coefficienti Ψ_{0j} , Ψ_{1j} e Ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

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

| | | Coefficiente | EQU ⁽¹⁾ | A1 | A2 |
|--|---------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
| Azioni permanenti g_1 e g_3 | favorevoli sfavorevoli | γ_{G1} e γ_{G3} | 0,90 1,10 | 1,00 1,35 | 1,00 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2 | favorevoli sfavorevoli | γ_{G2} | 0,00 1,50 | 0,00 1,50 | 0,00 1,30 |
| Azioni variabili da traffico | favorevoli sfavorevoli | γ_Q | 0,00 1,35 | 0,00 1,35 | 0,00 1,15 |
| Azioni variabili | favorevoli sfavorevoli | γ_{Qi} | 0,00 1,50 | 0,00 1,50 | 0,00 1,30 |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto | favorevoli sfavorevoli | $\gamma_{\epsilon 1}$ | 0,90 1,00 ⁽³⁾ | 1,00 1,00 ⁽⁴⁾ | 1,00 1,00 |
| Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari | favorevoli sfavorevoli | $\gamma_{\epsilon 2}$, $\gamma_{\epsilon 3}$, $\gamma_{\epsilon 4}$ | 0,00 1,20 | 0,00 1,20 | 0,00 1,00 |

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

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota 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

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

| Azioni | Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV) | Coefficiente Ψ_0 di combinazione | Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV) | Schema 1 (carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 4 (folla) | -- | 0,75 | 0,0 |
| Vento | a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| | in esecuzione | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| | a ponte carico SLU e SLE | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Neve | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | in esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | SLU e SLE | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

Agli stati limite di esercizio si sono considerate le verifiche per le combinazioni rara e frequente.

Le condizioni di carico di cui ai paragrafi precedenti sono state combinate secondo quanto indicato dalle norme tecniche sulle costruzioni NTC18.

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

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

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo "+" vuol dire "combinato con".

I valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1} e γ_{Q1} sono dati nel § 2.6.1.

7.1 Impalcato

| | Verifiche SLU | Verifiche SLE |
|---------------------|---------------|---------------|
| G1 - IMPALCATO | 1.35 | 1.00 |
| G1 - SOLETTA | 1.35 | 1.00 |
| G2 - PERMANENTI | 1.50 | 1.00 |
| Q1 - MOBILIKK | 1.50 | 1.00 |
| P - PRECOMPRESSIONE | 0.90 | 1.00 |

7.2 Pile

| | ENV_SLE_R | | | | | ENV_SLE_F | | | ENV_SLU_STR | | | | |
|--------------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|----------------------|----------|---------|-------------|--------|-------|--------|--------|
| | SLE_CARATTERISTICHE (RARE) | | | | | SLE_FREQ. - Q. PERM. | | | SLU_STR | | | | |
| COND. CARICO ELEM. | SLE_R_P | SLE_R_VC | SLE_R_1 | SLE_R_2a | SLE_R_2b | SLE_F_P | SLE_F_VC | SLE_F_1 | SLU_P | SLU_VC | SLU_1 | SLU_2a | SLU_2b |
| G1-IMPALCATO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G1-SOLETTA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G1-PILA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G2-PERMANENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| E1-DISTORSIONI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| E2-RITIRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| E4-CEDIMENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Q1-MOBILI-KK | | | 1.00 | | | | | | | 1.35 | | | |
| Q1-MOBILI-FQ | | 1.00 | | 1.00 | 1.00 | | | 1.00 | | | | 1.35 | 1.35 |
| Q3-FRENATURA | | | | 1.00 | | | | | | | | 1.35 | |
| Q4-CENTRIFUGA | | | | | 1.00 | | | | | | | | 1.35 |
| Q5-VENTO-C | | 1.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | | 0.20 | | | 1.50 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| Q7-ATTRITO-P | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| Q6-SISMA_L | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_T | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_V | | | | | | | | | | | | | |
| G1-PESO_FONDAZIONE | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G1-PESO_RINTERRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| Q6-INERZIA_MASSE_L | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_T | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_V | | | | | | | | | | | | | |

| | ENV_SLU_SIS | | | | | | ENV_SLU_GEO | | | | | EQU | | |
|--------------------|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|-------------|----------|---------|----------|----------|-------|-------|-------|
| | SLV SISMICA | | | | | | SLU_GEO | | | | | EQU | | |
| COND. CARICO ELEM. | SLU_SL1 | SLU_SL2 | SLU_ST1 | SLU_ST2 | SLU_V1 | SLU_V2 | SLU_G_P | SLU_G_VC | SLU_G_1 | SLU_G_2a | SLU_G_2b | EQU_1 | EQU_2 | EQU_3 |
| G1-IMPALCATO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G1-SOLETTA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G1-PILA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G2-PERMANENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | | | 0.9 |
| E1-DISTORSIONI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | | |
| E2-RITIRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | | |
| E4-CEDIMENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | | |
| Q1-MOBILI-KK | | | | | | | | | 1.35 | | | | | 1.35 |
| Q1-MOBILI-FQ | | | | | | | | 1.35 | | 1.35 | 1.35 | | | |
| Q3-FRENATURA | | | | | | | | | | 1.35 | | | | 1.35 |
| Q4-CENTRIFUGA | | | | | | | | | | | 1.15 | | | |
| Q5-VENTO-C | | | | | | | | 1.50 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 1.5 | 1.5 | |
| Q7-ATTRITO-P | | | | | | | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.5 | 1.5 | |
| Q6-SISMA_L | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_T | 0.30 | 0.30 | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_V | 0.30 | -0.30 | 0.30 | -0.30 | 1.00 | -1.00 | | | | | | | | |
| G1-PESO_FONDAZIONE | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G1-PESO_RINTERRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| Q6-INERZIA_MASSE_L | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_T | 0.30 | 0.30 | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_V | 0.30 | -0.30 | 0.30 | -0.30 | 1.00 | -1.00 | | | | | | | | |

7.3 Spalle

| COND. CARICO ELEM. | ENV_SLE_R | | | | | ENV_SLE_F | | | ENV_SLU_STR | | | | |
|---------------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|----------------------|----------|---------|-------------|--------|-------|--------|--------|
| | SLE_CARATTERISTICHE (RARE) | | | | | SLE_FREQ. - Q. PERM. | | | SLU_STR | | | | |
| | SLE_R_P | SLE_R_VC | SLE_R_1 | SLE_R_2a | SLE_R_2b | SLE_F_P | SLE_F_VC | SLE_F_1 | SLU_P | SLU_VC | SLU_1 | SLU_2a | SLU_2b |
| G1-IMPALCATO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G1-SOLETTA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G2-PERMANENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| E1-DISTORSIONI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| E2-RITIRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| E4-CEDIMENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Q1-MOBILI-KK | | | 1.00 | | | | | | | 1.35 | | | |
| Q1-MOBILI-FQ | | 1.00 | | 1.00 | 1.00 | | | 1.00 | | 1.35 | | 1.35 | 1.35 |
| Q3-FRENATURA | | | | 1.00 | | | | | | | | 1.35 | |
| Q4-CENTRIFUGA | | | | | 1.00 | | | | | | | | 1.35 |
| Q5-VENTO-C | | 1.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | | 0.20 | | | 1.50 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| Q7-ATTRITO-P | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| Q6-SISMA_L | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_T | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_V | | | | | | | | | | | | | |
| G1-PESO_SPALLA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G1-PESO_RINTERRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| G3-SPINTA_TERRA_STA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| Q1-SPINTA_MOBILI | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | | 1.00 | | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| Q3-FRENATURA_PARA | | | | 1.00 | | | | | | | | 1.35 | |
| G3-SPINTA_TERRA_SIS | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-SOVRASPINTA_L | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_L | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_TP | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_TN | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_V | | | | | | | | | | | | | |

| COND. CARICO ELEM. | ENV_SLU_SIS | | | | | | ENV_SLU_GEO | | | | | EQU | | |
|---------------------|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|-------------|----------|---------|----------|----------|-------|-------|-------|
| | SLV SISMICA | | | | | | SLU_GEO | | | | | EQU | | |
| | SLU_SL1 | SLU_SL2 | SLU_ST1 | SLU_ST2 | SLU_V1 | SLU_V2 | SLU_G_P | SLU_G_VC | SLU_G_1 | SLU_G_2a | SLU_G_2b | EQU_1 | EQU_2 | EQU_3 |
| G1-IMPALCATO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G1-SOLETTA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G2-PERMANENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | | | 0.9 |
| E1-DISTORSIONI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | | |
| E2-RITIRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | | |
| E4-CEDIMENTI | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | | |
| Q1-MOBILI-KK | | | | | | | | 1.35 | | 1.35 | 1.35 | | | 1.35 |
| Q1-MOBILI-FQ | | | | | | | | | | 1.35 | | | | 1.35 |
| Q3-FRENATURA | | | | | | | | | | | 1.15 | | | |
| Q4-CENTRIFUGA | | | | | | | | | | | | 1.5 | 1.5 | |
| Q5-VENTO-C | | | | | | | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.5 | 1.5 | |
| Q7-ATTRITO-P | | | | | | | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_L | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_T | 0.30 | -0.30 | 1.00 | -1.00 | 0.30 | -0.30 | | | | | | | | |
| Q6-SISMA_V | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | |
| G1-PESO_SPALLA | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G1-PESO_RINTERRO | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | | | 0.9 |
| G3-SPINTA_TERRA_STA | | | | | | | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.1 | 1.1 | |
| Q1-SPINTA_MOBILI | | | | | | | | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | |
| Q3-FRENATURA_PARA | | | | | | | | | | 1.35 | | 1.35 | 1.35 | |
| G3-SPINTA_TERRA_SIS | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | |
| Q6-SOVRASPINTA_L | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_L | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_TP | 0.30 | | 1.00 | | 0.30 | | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_TN | | 0.30 | | 1.00 | | 0.30 | | | | | | | | |
| Q6-INERZIA_MASSE_V | 0.30 | -0.30 | 0.30 | -0.30 | 1.00 | -1.00 | | | | | | | | |

8. RISULTATI

8.1 ANALISI MODALE

Si riportano di seguito i principali risultati dell'analisi modale.

I modi considerati sono 500; le masse associate all'analisi modale sono costituite dal peso proprio dell'impalcato, dai carichi permanenti portati e dal peso proprio delle sottostrutture, in accordo con quanto prescritto dalla normativa.

La percentuale di massa eccitata nelle tre direzioni ortogonali è illustrata nella seguente tabella.

| TABLE: Modal Load Participation Ratios | | | | |
|--|--------------|------|---------|---------|
| OutputCase | ItemType | Item | Static | Dynamic |
| Text | Text | Text | Percent | Percent |
| MODALE | Acceleration | UX | 99.9979 | 97.3891 |
| MODALE | Acceleration | UY | 99.9974 | 97.2661 |
| MODALE | Acceleration | UZ | 99.9998 | 97.5017 |

Si riportano, nella seguente tabella, per i primi 20 modi di vibrare, i valori dei periodi e delle frequenze.

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|--------|-----------|----------|------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | Frequency | CircFreq | Eigenvalue |
| Text | Text | Unitless | Sec | Cyc/sec | rad/sec | rad2/sec2 |
| MODALE | Mode | 1 | 0.40 | 2.48 | 15.61 | 243.57 |
| MODALE | Mode | 2 | 0.25 | 3.98 | 25.01 | 625.51 |
| MODALE | Mode | 3 | 0.22 | 4.45 | 27.97 | 782.56 |
| MODALE | Mode | 4 | 0.18 | 5.70 | 35.83 | 1283.59 |
| MODALE | Mode | 5 | 0.13 | 7.74 | 48.64 | 2365.99 |
| MODALE | Mode | 6 | 0.12 | 8.61 | 54.07 | 2923.47 |
| MODALE | Mode | 7 | 0.11 | 9.10 | 57.16 | 3267.83 |
| MODALE | Mode | 8 | 0.10 | 9.59 | 60.25 | 3630.02 |
| MODALE | Mode | 9 | 0.10 | 10.37 | 65.15 | 4244.07 |
| MODALE | Mode | 10 | 0.09 | 10.91 | 68.56 | 4700.02 |
| MODALE | Mode | 11 | 0.09 | 11.20 | 70.37 | 4951.57 |
| MODALE | Mode | 12 | 0.08 | 12.87 | 80.85 | 6537.40 |
| MODALE | Mode | 13 | 0.08 | 12.97 | 81.51 | 6643.15 |
| MODALE | Mode | 14 | 0.07 | 13.79 | 86.64 | 7505.98 |
| MODALE | Mode | 15 | 0.07 | 14.56 | 91.51 | 8374.49 |
| MODALE | Mode | 16 | 0.07 | 14.63 | 91.93 | 8450.54 |
| MODALE | Mode | 17 | 0.06 | 16.19 | 101.72 | 10346.10 |
| MODALE | Mode | 18 | 0.06 | 16.56 | 104.05 | 10827.42 |
| MODALE | Mode | 19 | 0.06 | 17.06 | 107.20 | 11491.51 |
| MODALE | Mode | 20 | 0.06 | 17.46 | 109.70 | 12034.37 |

Si riportano nella seguente tabella, per i primi 20 modi di vibrare, le percentuali di massa eccitata nelle tre direzioni ortogonali.

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ | RX | RY | RZ | SumRX | SumRY | SumRZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODALE | Mode | 1 | 40% | 1% | 0% | 37% | 1% | 0% | 37% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| MODALE | Mode | 2 | 25% | 0% | 8% | 0% | 1% | 8% | 37% | 31% | 0% | 0% | 31% | 0% | 0% |
| MODALE | Mode | 3 | 22% | 0% | 66% | 0% | 1% | 74% | 37% | 0% | 0% | 0% | 31% | 0% | 0% |
| MODALE | Mode | 4 | 18% | 81% | 0% | 1% | 82% | 74% | 37% | 0% | 0% | 0% | 31% | 0% | 0% |
| MODALE | Mode | 5 | 13% | 0% | 0% | 0% | 82% | 74% | 37% | 0% | 0% | 71% | 31% | 0% | 71% |
| MODALE | Mode | 6 | 12% | 1% | 0% | 0% | 83% | 75% | 37% | 0% | 9% | 0% | 32% | 9% | 71% |
| MODALE | Mode | 7 | 11% | 0% | 0% | 0% | 83% | 75% | 37% | 0% | 0% | 0% | 32% | 9% | 71% |
| MODALE | Mode | 8 | 10% | 1% | 0% | 0% | 85% | 75% | 38% | 0% | 0% | 3% | 32% | 9% | 74% |
| MODALE | Mode | 9 | 10% | 7% | 0% | 0% | 92% | 75% | 38% | 1% | 1% | 1% | 33% | 11% | 75% |
| MODALE | Mode | 10 | 9% | 0% | 8% | 0% | 92% | 83% | 38% | 10% | 1% | 0% | 43% | 11% | 75% |
| MODALE | Mode | 11 | 9% | 1% | 0% | 1% | 93% | 83% | 39% | 2% | 1% | 4% | 44% | 12% | 79% |
| MODALE | Mode | 12 | 8% | 0% | 0% | 30% | 94% | 83% | 69% | 0% | 1% | 0% | 44% | 13% | 79% |
| MODALE | Mode | 13 | 8% | 0% | 0% | 1% | 94% | 83% | 69% | 1% | 51% | 0% | 45% | 65% | 79% |
| MODALE | Mode | 14 | 7% | 0% | 0% | 0% | 94% | 83% | 69% | 0% | 0% | 5% | 45% | 65% | 84% |
| MODALE | Mode | 15 | 7% | 1% | 7% | 0% | 94% | 90% | 69% | 8% | 1% | 0% | 53% | 66% | 85% |
| MODALE | Mode | 16 | 7% | 0% | 0% | 0% | 94% | 90% | 69% | 1% | 0% | 0% | 54% | 66% | 85% |
| MODALE | Mode | 17 | 6% | 0% | 0% | 2% | 94% | 90% | 72% | 0% | 0% | 0% | 54% | 66% | 85% |
| MODALE | Mode | 18 | 6% | 0% | 1% | 0% | 95% | 91% | 72% | 2% | 0% | 0% | 55% | 66% | 85% |
| MODALE | Mode | 19 | 6% | 0% | 0% | 0% | 95% | 91% | 72% | 0% | 0% | 6% | 55% | 66% | 91% |
| MODALE | Mode | 20 | 6% | 0% | 0% | 0% | 95% | 91% | 72% | 0% | 0% | 0% | 56% | 66% | 91% |

Si riportano di seguito le deformate modali della struttura nei primi modi di vibrare.

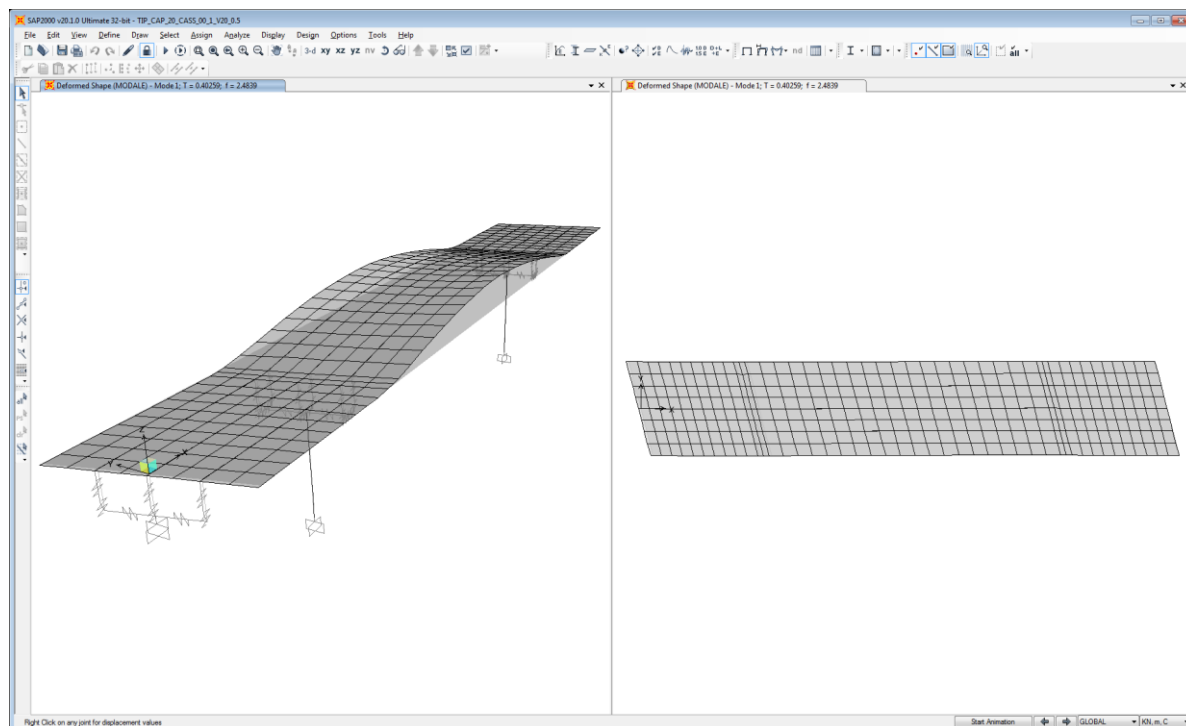


Figura 8-1: Deformata modale modo n°1

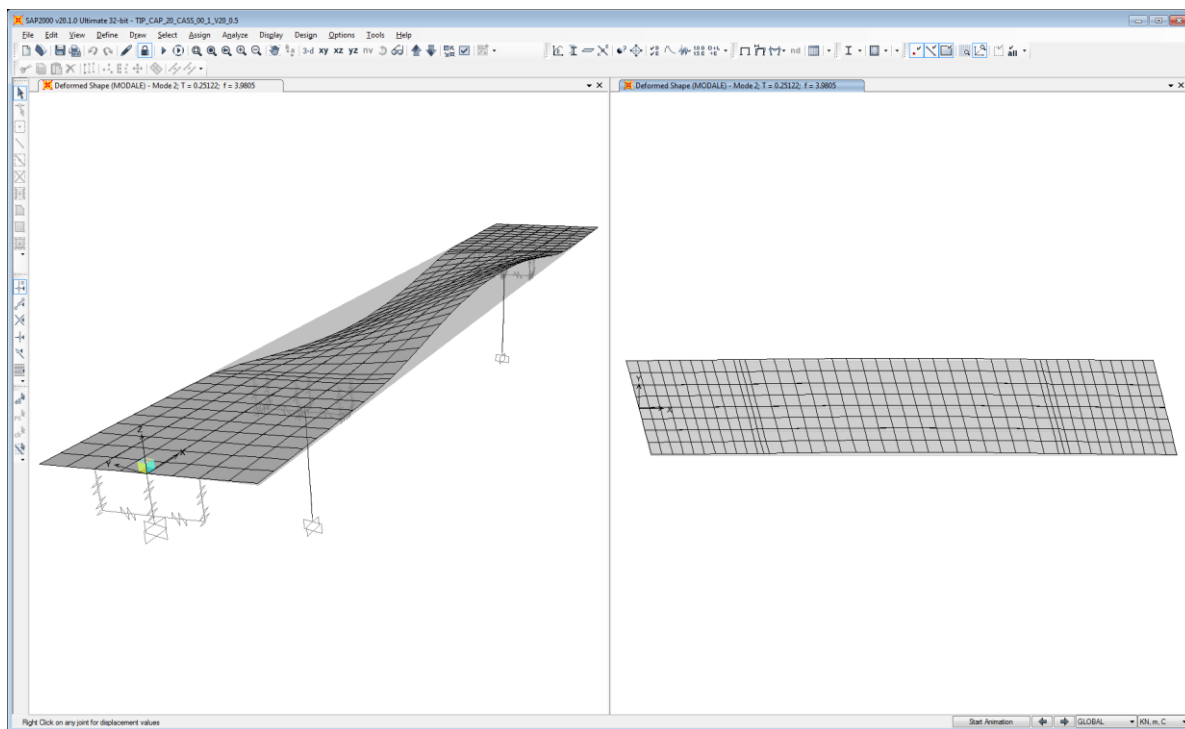
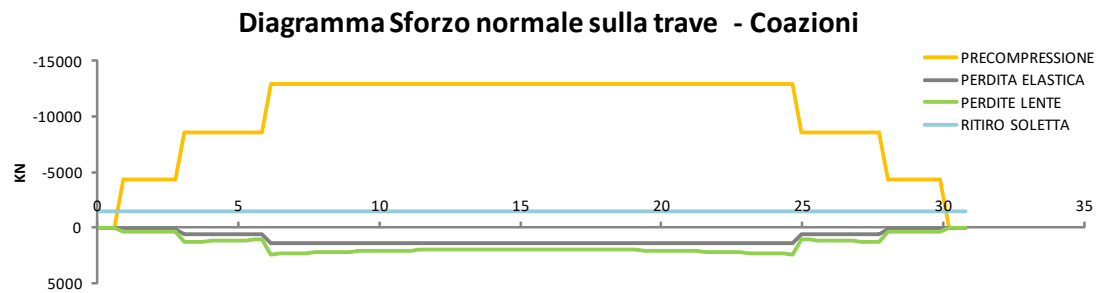
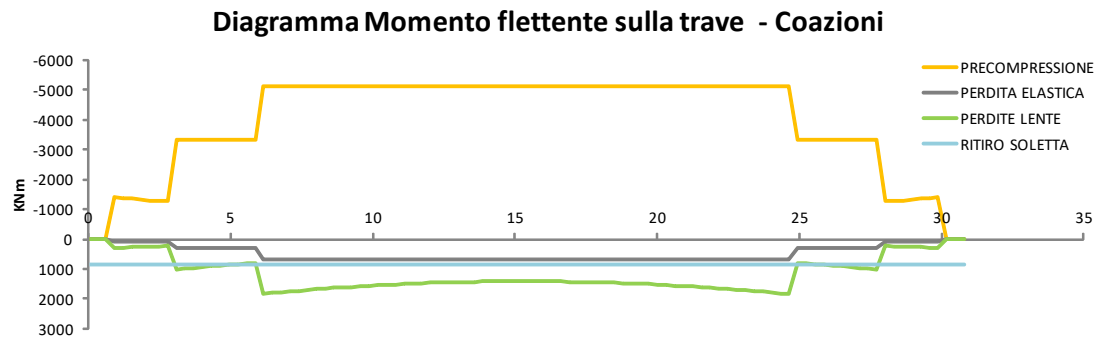
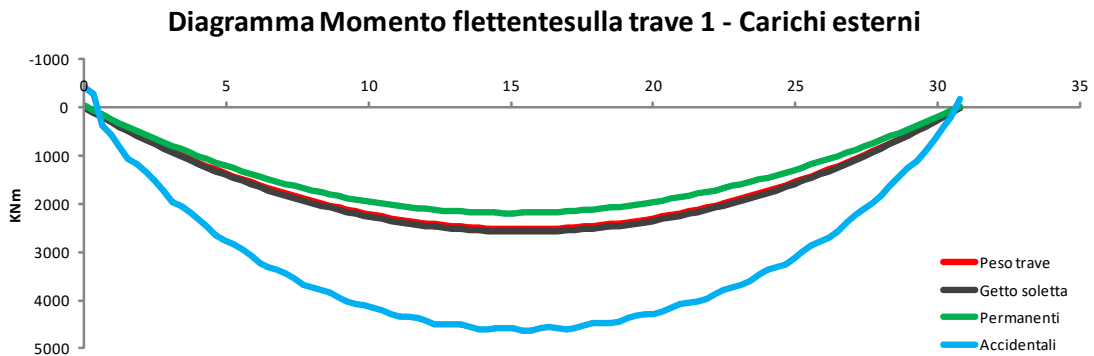
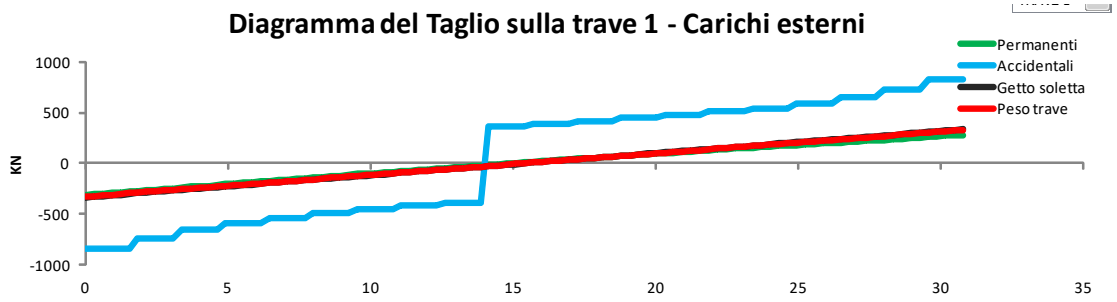


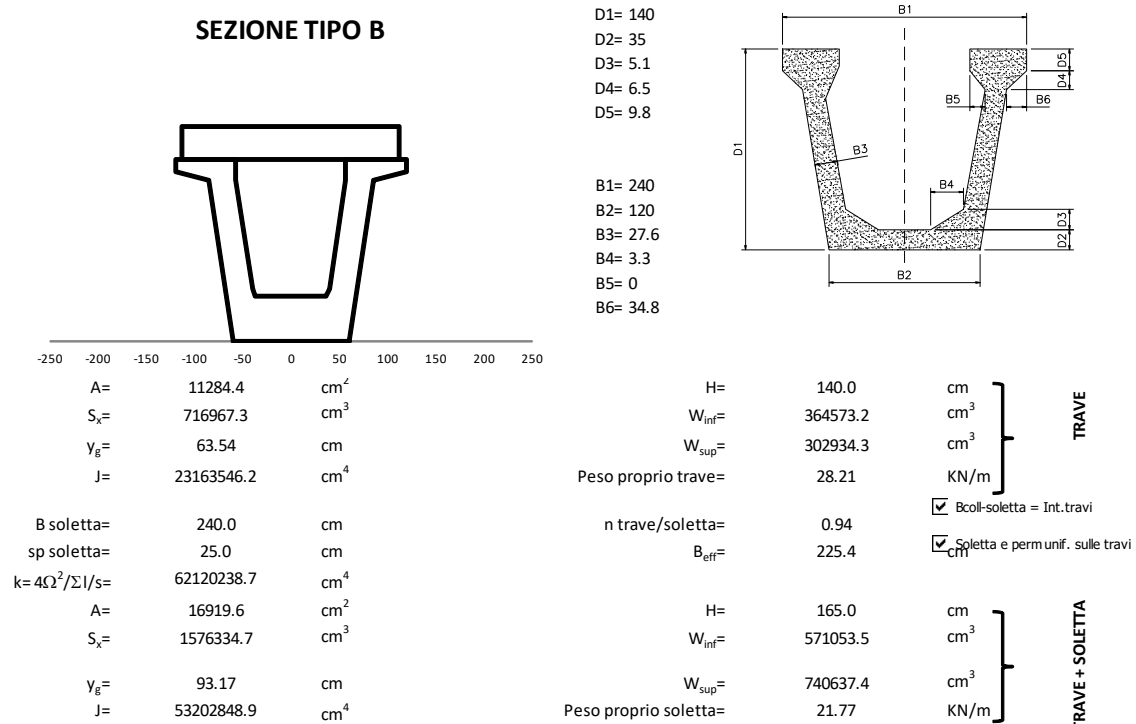
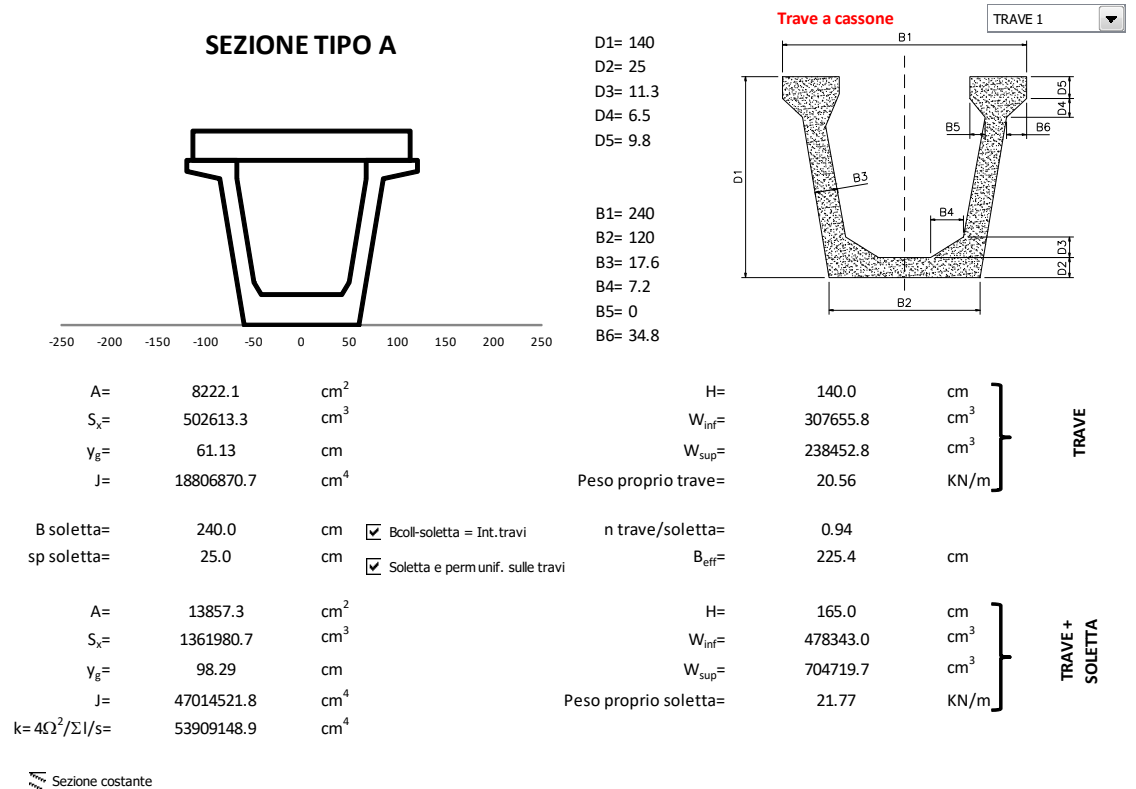
Figura 8-2: Deformata modale modo n°2

8.2 DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI



9. VERIFICHE IMPALCATO

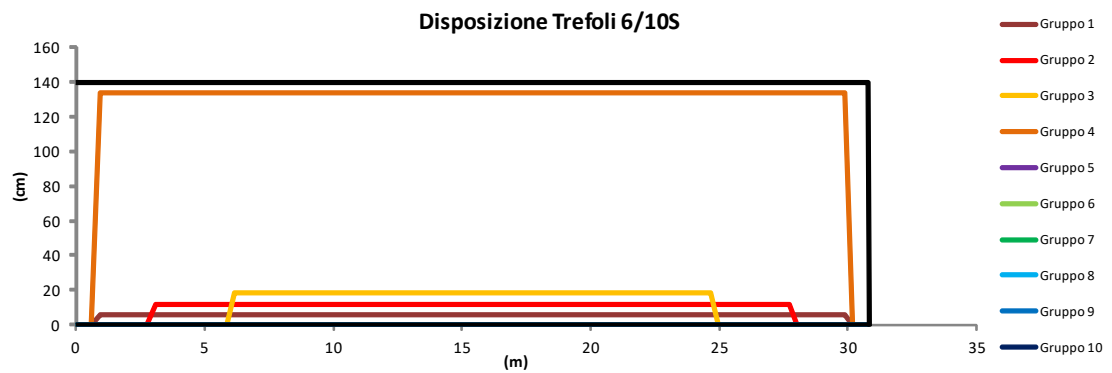
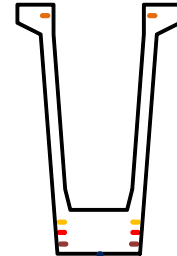
9.1 Caratteristiche trave in c.a.p.



9.2 Precompressione e armatura lenta

Tensione limite iniziale 1488.0 Mpa diametro Trefoli 6/10S 13.8 mm
 Tensione di tesatura iniziale 1300.0 Mpa area Trefoli 6/10S 150.0 mmq
 Lunghezza di trasferimento della precompressione 0.90 m

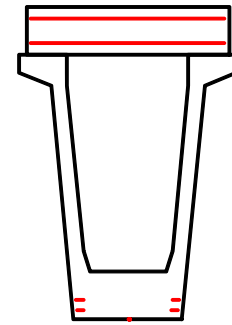
| Disposizione Trefoli 6/10S | | | | | | | |
|----------------------------|----|--------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | n. | y (cm) | A _{tot} (mmq) | L _{eff} (m) | σ _{spi} (Mpa) | N _{prec} (KN) | M _{prec} (KNm) |
| gruppo 1 | 18 | 6 | 2700 | 0.90 | 1300.0 | -3510 | -1935.0 |
| gruppo 2 | 22 | 12 | 3300 | 2.90 | 1300.0 | -4290 | -2107.7 |
| gruppo 3 | 22 | 18 | 3300 | 5.90 | 1300.0 | -4290 | -1850.3 |
| gruppo 4 | 4 | 134 | 600 | 0.90 | 1300.0 | -780 | 568.4 |



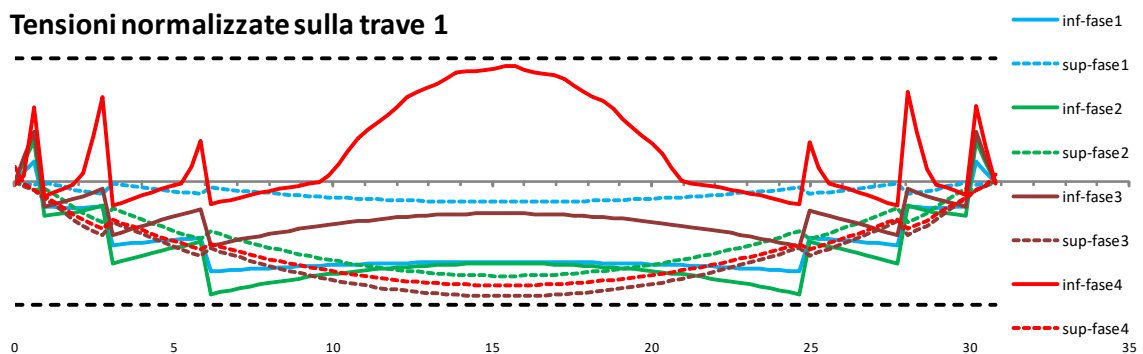
| Disposizione armature lente | | | | | |
|-----------------------------|----|--------|--------|------------------------|--------|
| | n. | y (cm) | φ (mm) | A _{tot} (mmq) | x0 (m) |
| gruppo 1 | 12 | 5 | 16 | 2412.7 | 0.0 |
| gruppo 2 | 10 | 10 | 16 | 2010.6 | 0.0 |
| gruppo 11 | 22 | 146 | 12 | 2488.1 | 0.0 |
| gruppo 12 | 22 | 159 | 12 | 2488.1 | 0.0 |

Armatura lenta nella trave

Armatura
lenta in
soletta



Tensioni normalizzate sulla trave 1



9.3 Perdite differite nel tempo

RITIRO DEL CLS TRAVE

| | | |
|--|---|-----------------------|
| Resistenza cubica caratteristica | $R_{ck} =$ | 55.0 Mpa |
| Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$ | $f_{ck} =$ | 45.0 Mpa |
| Umidità relativa | | 75 % |
| Area della sezione di calcestruzzo | $A_c =$ | 14222 cm ² |
| Perimetro della sezione esposto all'aria | $u =$ | 1160 cm |
| Dimensione fittizia | $h_0 = 2 A_c / u =$ | 245 mm |
| Deformazione per ritiro autogeno | $\epsilon_{ca} =$ | -8.75E-05 |
| | $\epsilon_{c0} =$ | -2.61E-04 |
| | $k_H =$ | 0.805 |
| Deformazione per ritiro da essiccamento a $t = \infty$ | $\epsilon_{cd, \infty} =$ | -2.10E-04 |
| Età del cls a partire dal quale si considera il ritiro | $t_s =$ | 30 gg |
| Età del cls nel momento considerato | $t =$ | 500000 gg |
| | $\beta(\infty) =$ | 0.99969 |
| | $\epsilon_{cd}(\infty) =$ | -2.10E-04 |
| Deformazione totale da ritiro a $t = \infty$ | $\epsilon_{cs}(\infty) =$ | -2.97E-04 |

| f_{ck} | Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰) | | | | | |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Umidità Relativa (in ‰) | | | | | |
| | 20 | 40 | 60 | 80 | 90 | 100 |
| 20 | -0,62 | -0,58 | -0,49 | -0,30 | -0,17 | +0,00 |
| 40 | -0,48 | -0,46 | -0,38 | -0,24 | -0,13 | +0,00 |
| 60 | -0,38 | -0,36 | -0,30 | -0,19 | -0,10 | +0,00 |
| 80 | -0,30 | -0,28 | -0,24 | -0,15 | -0,07 | +0,00 |

Tabella 11.2.Va - Valori di ϵ_{c0}

| h_0 (mm) | k_h |
|------------|-------|
| 100 | 1,0 |
| 200 | 0,85 |
| 300 | 0,75 |
| ≥500 | 0,70 |

Tabella 11.2.Vb - Valori di k_b

Riduzione per additivi

Ritiro di calcolo

↓

↓

60%

-1.78E-04

VISCOSITA'

Coeff. di viscosità a $t = \infty$ $\phi(\infty, t_s) =$ 1.973

Viscosità

Tabella 11.2.VI - Valori di $\phi(\infty, t_s)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

| t_0 | $h_0 \leq 75$ mm | $h_0 = 150$ | $h_0 = 300$ | $h_0 \geq 600$ |
|------------|------------------|-------------|-------------|----------------|
| 3 giorni | 3,5 | 3,2 | 3,0 | 2,8 |
| 7 giorni | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 2,3 |
| 15 giorni | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,1 |
| 30 giorni | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,8 |
| ≥ 60giorni | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 |

Tabella 11.2.VII - Valori di $\phi(\infty, t_s)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

| t_0 | $h_0 \leq 75$ mm | $h_0 = 150$ | $h_0 = 300$ | $h_0 \geq 600$ |
|------------|------------------|-------------|-------------|----------------|
| 3 giorni | 4,5 | 4,0 | 3,6 | 3,3 |
| 7 giorni | 3,7 | 3,3 | 3,0 | 2,8 |
| 15 giorni | 3,3 | 3,0 | 2,7 | 2,5 |
| 30 giorni | 2,9 | 2,6 | 2,3 | 2,2 |
| ≥ 60giorni | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 |

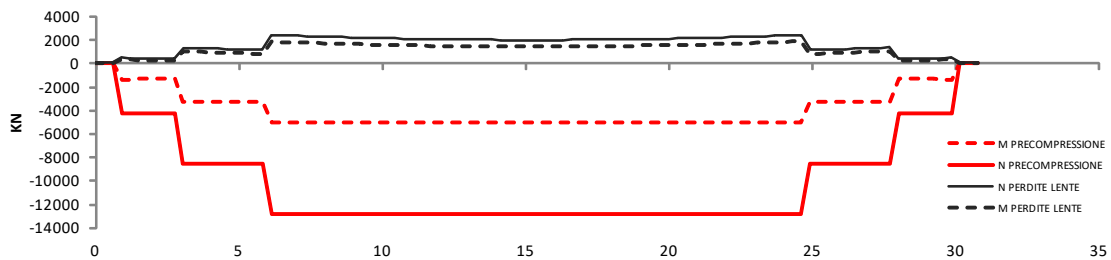
CADUTE DI TENSIONE PER RILASSAMENTO

| | | |
|---|---------------------------------|------------|
| Tensione iniziale nel cavo | $\sigma_{spi} =$ | 1300.0 Mpa |
| Resistenza caratteristica dell'acciaio da precompressione | $f_{pk} =$ | 1670.0 Mpa |
| Perdita percentuale per rilass. a 1000 ore, a 20°C e con $\sigma_{spi} = 0.7 f_p$ | $\rho_{1000} =$ | 2.50 Mpa |
| | $\mu = \sigma_{spi} / f_{pk} =$ | 0.778 |
| Tempo dalla messa in tensione | $t =$ | 500000 ore |


| | |
|--|---|
| $\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 5,39 \rho_{1000} e^{6,7\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$ | Trecce, fili, trefoli ordinari a normale rilassamento |
| $\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$ | Trecce, fili, trefoli stabilizzati a basso rilassamento |
| $\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 1,98 \rho_{1000} e^{8,0\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$ | Barre laminate |

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------|
| Nel nostro caso trattandosi di: Trefoli stabilizzati | $\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} =$ | 0.055 |
| Caduta di tensione per rilassamento al tempo $t = 500000$ ore | $\Delta\sigma_{pr} =$ | 71.84 Mpa |

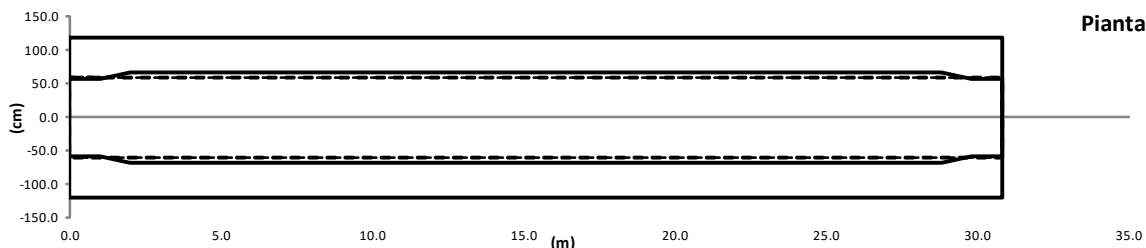
Diagramma M/N sulla trave 1 - Precompressione e perdite



9.4 Caratteristiche sezioni di verifica

L = Lunghezza trave = 30.8 m  Sezione costante
 Lunghezza retrotrave = 0.4 m
 Lunghezza concio di calcolo = 0.308 m
 n. conci di calcolo = 100
 L1 = Lunghezza sezione corrente tipo A = 26.8 m
 L2 = Lunghezza sezione variabile AB-BA = 1.0 m
 L3 = Lunghezza sezione di appoggio tipo B = 1.0 m

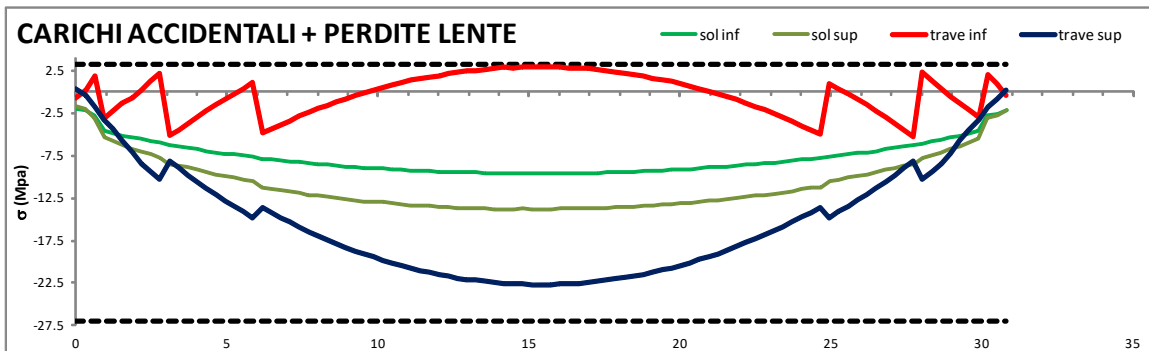
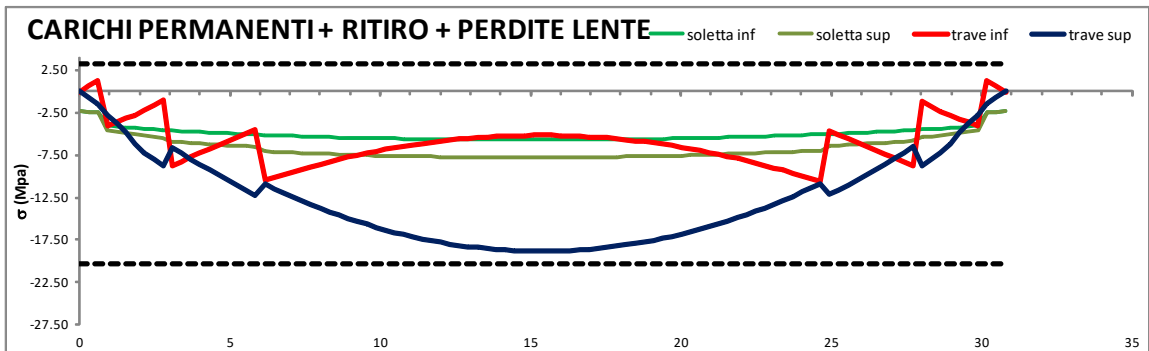
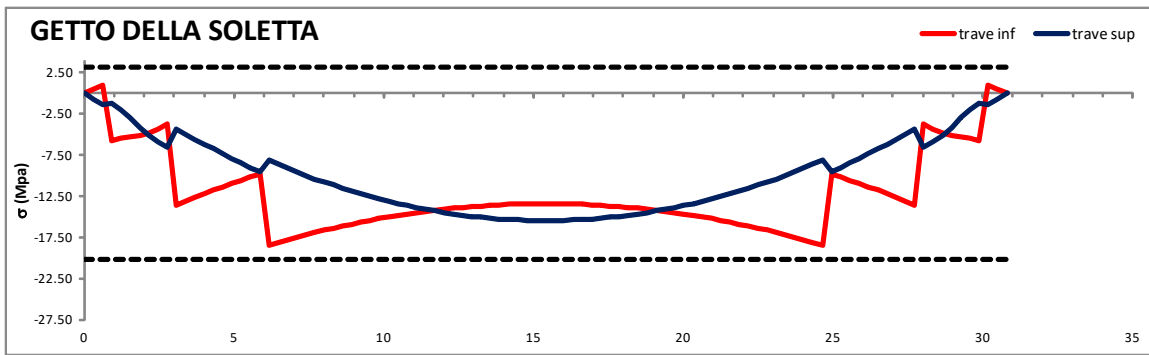
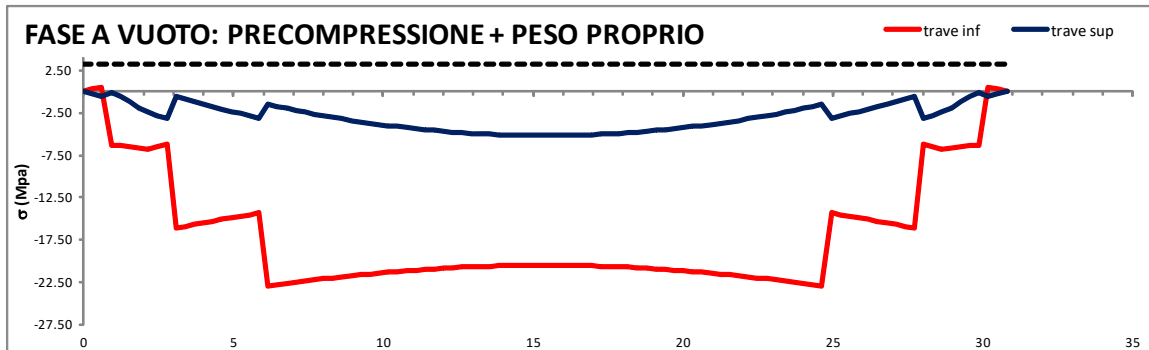
| | xin (m) | xfin (m) |
|----------------|---------|----------|
| TIPO BB | 0.00 | 1.00 |
| TIPO BA | 1.00 | 2.00 |
| TIPO AA | 2.00 | 28.80 |
| TIPO AB | 28.80 | 29.80 |
| TIPO BB | 29.80 | 30.80 |



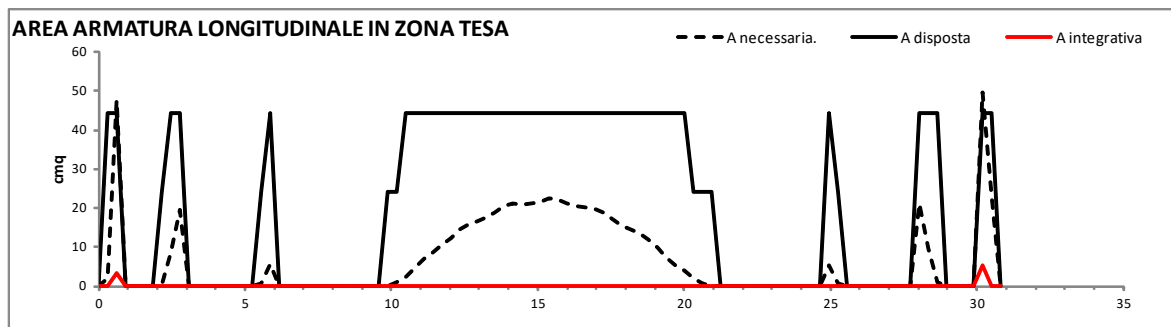
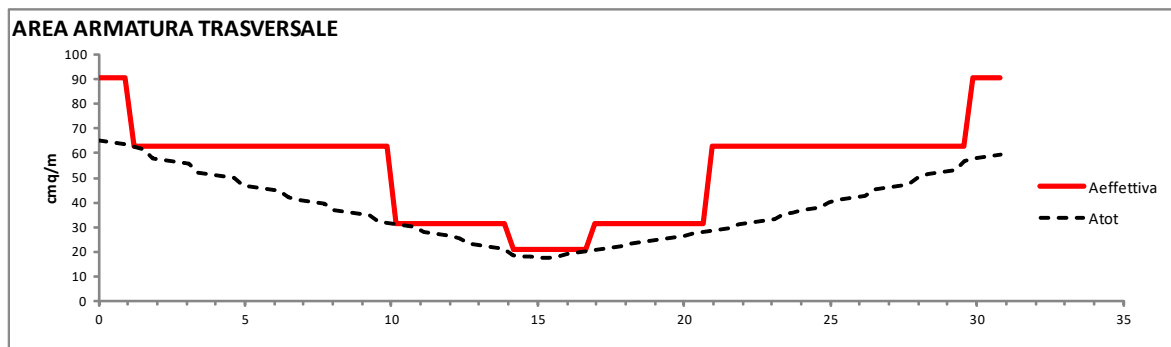
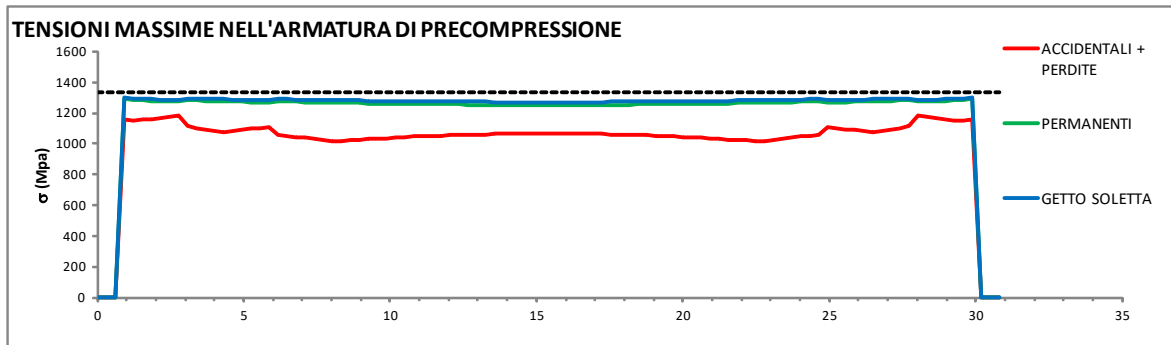
| | | | | TRAVE + ARMATURE | | | | | | |
|------|------|-------|------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| x(m) | Tipo | x(m) | Tipo | x(m) | A _{id} (cm ²) | J _{id} (cm ⁴) | y _g (cm) | W _{inf} (cm ³) | W _{sup} (cm ³) | |
| 0.00 | BB | 7.70 | AA | 0.00 | 11535.6 | 23942832 | 62.3 | 384246 | -308189 | |
| 0.31 | BB | 8.01 | AA | 1.54 | 10110.8 | 22307898 | 60.2 | 370456 | -279609 | |
| 0.62 | BB | 8.32 | AA | 3.08 | 8848.0 | 20542894 | 57.9 | 354885 | -250175 | |
| 0.92 | BB | 8.62 | AA | 4.62 | 8848.0 | 20542894 | 57.9 | 354885 | -250175 | |
| 1.23 | BA | 8.93 | AA | 6.16 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 1.54 | BA | 9.24 | AA | 7.70 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 1.85 | BA | 9.55 | AA | 9.24 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 2.16 | AA | 9.86 | AA | 10.78 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 2.46 | AA | 10.16 | AA | 12.32 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 2.77 | AA | 10.47 | AA | 13.86 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 3.08 | AA | 10.78 | AA | 15.40 | 9035.3 | 20834804 | 57.1 | 365146 | -251200 | |
| 3.39 | AA | 11.09 | AA | | | | | | | |
| 3.70 | AA | 11.40 | AA | | | | | | | |
| | | | | TRAVE + SOLETTA + ARMATURE | | | | | | |
| x(m) | Tipo | x(m) | Tipo | x(m) | A _{id} (cm ²) | J _{id} (cm ⁴) | y _g (cm) | W _{inf} (cm ³) | W _{sup} (cm ³) | W _{supsol} (cm ³) |
| 4.00 | AA | 11.70 | AA | 0.00 | 17453.3 | 56062561 | 92.9 | 603533 | -1190052 | -777466 |
| 4.31 | AA | 12.01 | AA | 1.54 | 16028.6 | 54403113 | 94.3 | 576989 | -1190128 | -769362 |
| 4.62 | AA | 12.32 | AA | 3.08 | 14765.7 | 52591885 | 95.8 | 548947 | -1189996 | -760053 |
| 4.93 | AA | 12.63 | AA | 4.62 | 14765.7 | 52591885 | 95.8 | 548947 | -1189996 | -760053 |
| 5.24 | AA | 12.94 | AA | 6.16 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 5.54 | AA | 13.24 | AA | 7.70 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 5.85 | AA | 13.55 | AA | 9.24 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 6.16 | AA | 13.86 | AA | 10.78 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 6.47 | AA | 14.17 | AA | 12.32 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 6.78 | AA | 14.48 | AA | 13.86 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 7.08 | AA | 14.78 | AA | 15.40 | 14953.0 | 53711899 | 94.8 | 566401 | -1189108 | -765455 |
| 7.39 | AA | 15.09 | AA | | | | | | | |

9.5 Diagramma tensioni sulla trave n.1

Effetto della precompressione



9.6 Diagramma tensioni/aree armature trave n.1



9.7 Verifica sezione n.1 – ascissa x = 0,000m

Effetto della precompressione

Ascissa di verifica

Elemento di verifica 1

N. Gruppi Trefoli attivi 0

σ_{spi} Tensione di tesatura = 1300.0 Mpa

Tensioni dopo le perdite elastiche

Nprec. alla tesatura 0.0 KN

Mprec. alla tesatura 0.0 KNm

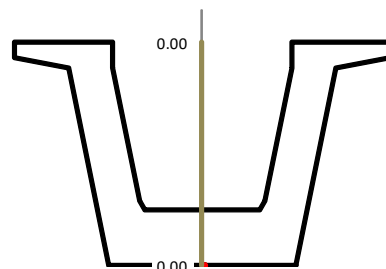
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$ 0.0 KN

$\Delta M_{perdite\ elastiche}$ 0.0 KNm

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.00 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.00 Mpa

n. totale Trefoli = 0



FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

N_0 0.0 KN

M_0 0.0 KNm

A_{id} 1.1536 mq

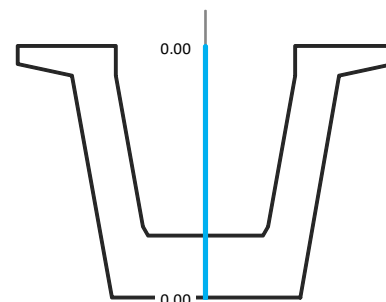
S_{id} 0.7188 mc

Y_{bar} 62.31 cm

J_{id} 0.2394 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.00 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.00 Mpa



GETTO DELLA SOLETTA

N_1 0.0 KN

M_1 0.0 KNm

A_{id} 1.1536 mq

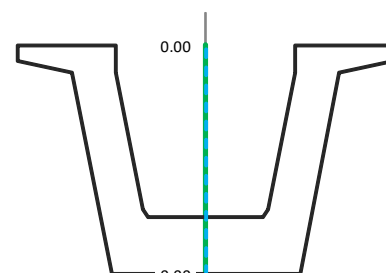
S_{id} 0.7188 mc

Y_{bar} 62.31 cm

J_{id} 0.2394 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.00 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.00 Mpa



CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

N_2 0.0 KN ΔP 0.0 KN

M_2 -43.6 KNm ΔMp 0.0 KNm

A_{id} 1.7453 mq

S_{id} 1.6212 mc

Y_{bar} 92.89 cm

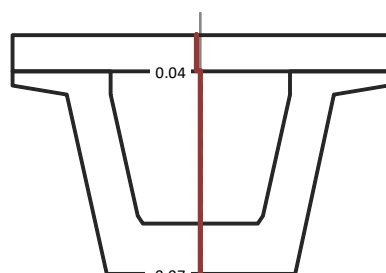
J_{id} 0.5606 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -0.07 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.04 Mpa

Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} -2.32 Mpa

Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} -2.30 Mpa



CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

N_3 0.0 KN ΔP 0.0 KN

M_3 -418.2 KNm ΔMp 0.0 KNm

A_{id} 1.7453 mq

S_{id} 1.6212 mc

Y_{bar} 92.89 cm

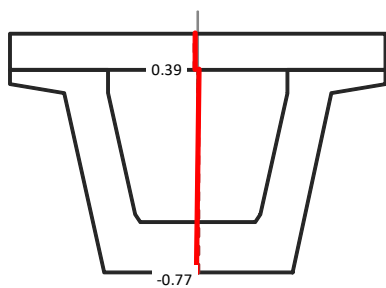
J_{id} 0.5606 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -0.77 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.39 Mpa

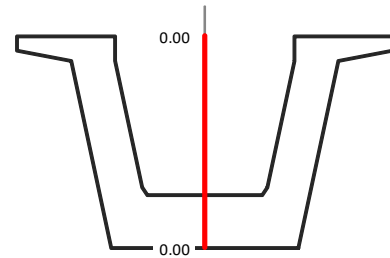
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} -1.97 Mpa

Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} -1.77 Mpa



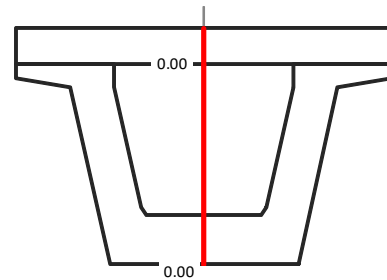
PERDITE ELASTICHE

σ_{p0} $\Delta\sigma_{p0}$ ΔN (KN)= 0.0
 ΔM (KNm)= 0.0
 σ_{inf} = 0.00
 σ_{sup} = 0.00



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

σ_{p0} $\Delta\sigma_{p0}$ ΔN (KN)= 0.0
 ΔM (KNm)= 0.0
 σ_{inf} = 0.00
 σ_{sup} = 0.00
 σ_{ss} = 0.00



TENSIONI ARMATURA LENTA

| | Max | Min |
|--|-----|------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | 0.0 | 0.0 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 0.0 | 0.0 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | 0.3 | -0.4 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 3.1 | -4.1 |

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

| | Max | Min |
|--|-----|-----|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | 0.0 | 0.0 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 0.0 | 0.0 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | 0.0 | 0.0 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 0.0 | 0.0 |

VERIFICA A TAGLIO - SLU

| V_{Ed} = | 2625.1 KN | ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO | | ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------|------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| f_{ck} = | 45.00 Mpa | v_{min} = | 0.375 Mpa | α_{cc} = | 1.000 |
| f_{cd} = | 25.50 Mpa | σ_{cp} = | 0.000 Mpa | V_{Rcd} = | 4799.7 KN |
| f'_{cd} = | 12.75 Mpa | k = | 1.367 | $A_{sw}/s = A_{nec.}$ = | 53.25 cm ² /m |
| f_{ctd} = | 1.77 Mpa | A_{sl} = | 94.0 cm ² | Staffe disposte 4 br. f12/5 | 84.51 cm ² /m |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | $\rho = A_{sl}/b_w d$ = | 0.011 | V_{Rsd} = | 4419.6 KN |
| d = | 148.5 cm | γ_c = | 1.5 | $V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$ = | 4419.6 KN |
| b_w = | 56.3 cm | V_{Rd} = | 507.4 KN | $V_{Rd} > V_{Ed}$ = | La verifica è soddisfatta |

VERIFICA A TORSIONE - SLU

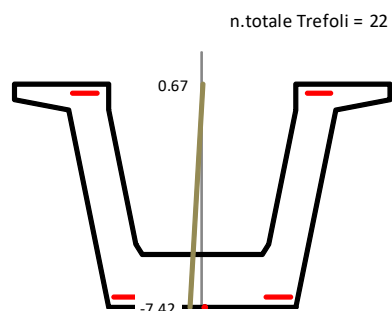
| Mt_{Ed} = | 797.5 KNm | Calcestruzzo | | Armatura longitudinali | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Armatura trasversali | | f'_{cd} = | 12.75 Mpa | u_m = | 5284.8 mm |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | t = | 276 mm | A_{minima} | 31.54 cm ² |
| θ | 45 ° | Ω | 1707281 mm ² | | |
| Ω | 1707281 mm ² | T_{Rcd} = | 6007.9 KNm | | |
| $A_{sw}/s = A_{nec.}$ = | 5.97 cm ² /m | | | | |
| T_{Rsd} = | 797.5 KNm | | | | |

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$ **0.680** **La verifica è soddisfatta**

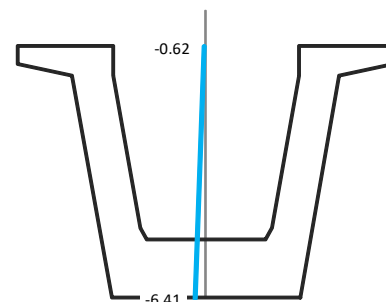
9.8 Verifica sezione n.5 – ascissa x = 1,232m

| | |
|--|-------------------|
| Effetto della precompressione Favorevole | σ^1 1258.5 |
| Ascissa di verifica | 1.23 m |
| Elemento di verifica | 5 |
| N. Gruppi Trefoli attivi | 2 |
| σ_{spi} Tensione di tesatura = | 1300.0 Mpa |
| Tensioni dopo le perdite elastiche | |
| Nprec. alla tesatura | -4290.0 KN |
| Mprec. alla tesatura | -1389.5 KNm |
| $\Delta N_{perdite\ elastiche}$ | 110.7 KN |
| $\Delta M_{perdite\ elastiche}$ | 62.8 KNm |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -7.42 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | 0.67 Mpa |



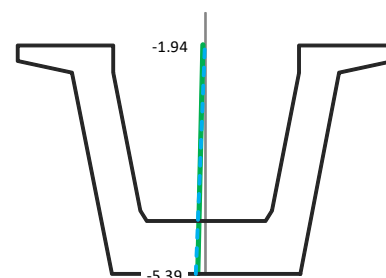
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

| | |
|--|-----------------------|
| N_0 | -4290.0 KN |
| M_0 | -1001.9 KNm |
| A_{id} | 1.1042 mq |
| S_{id} | 0.6748 mc |
| Y_{bar} | 61.11 cm |
| J_{id} | 0.2365 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -6.41 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -0.62 Mpa |



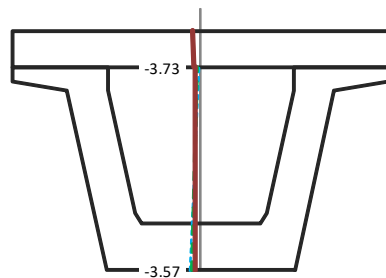
GETTO DELLA SOLETTA

| | |
|--|-----------------------|
| N_1 | 0.0 KN |
| M_1 | 396.5 KNm |
| A_{id} | 1.1042 mq |
| S_{id} | 0.6748 mc |
| Y_{bar} | 61.11 cm |
| J_{id} | 0.2365 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -5.39 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -1.94 Mpa |



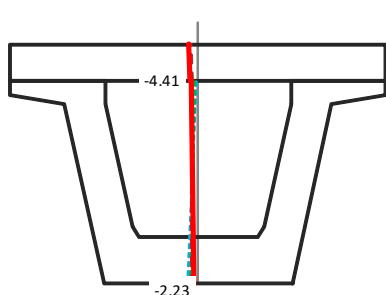
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|-----------|
| N_2 | -1415.5 KN | ΔP | 437.7 KN |
| M_2 | 1166.8 KNm | ΔMp | 277.4 KNm |
| A_{id} | 1.6960 mq | | |
| S_{id} | 1.5773 mc | | |
| Y_{bar} | 93.00 cm | | |
| J_{id} | 0.5613 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -3.57 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -3.73 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -4.15 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -4.79 Mpa | | |



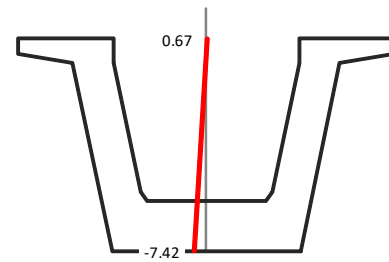
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|-----------|
| N_3 | 0.0 KN | ΔP | 437.7 KN |
| M_3 | 812.2 KNm | ΔMp | 277.4 KNm |
| A_{id} | 1.6960 mq | | |
| S_{id} | 1.5773 mc | | |
| Y_{bar} | 93.00 cm | | |
| J_{id} | 0.5613 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -2.23 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -4.41 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -4.83 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -5.83 Mpa | | |



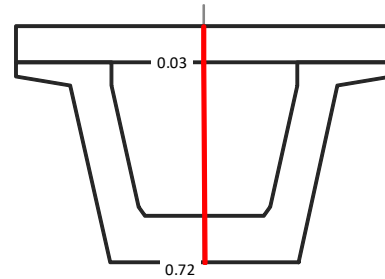
PERDITE ELASTICHE

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 110.7 |
|-----------------|---------------|-----|---------------------|------------------------|
| gruppo 1 | 1300.0 | --> | -41.5 | ΔM (KNm)= 62.8 |
| | | | | σ_{inf} = -7.42 |
| | | | | σ_{sup} = 0.67 |
| gruppo 4 | 1300.0 | --> | 2.4 | |



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 437.7 |
|-----------------|---------------|-----|---------------------|-------------------------|
| gruppo 1 | 1258.5 | --> | -132.2 | ΔM (KNm)= 277.4 |
| | | | | σ_{inf} = 0.72 |
| | | | | σ_{sup} = 0.03 |
| gruppo 4 | 1302.4 | --> | -134.7 | σ_{ig} = 0.03 |
| | | | | σ_{ss} = -0.10 |



TENSIONI ARMATURA LENTA

| | Max | Min |
|--|-------|-------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | -34.1 | -35.2 |
| GETTO DELLA SOLETTA | -29.2 | -29.9 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | -11.0 | -20.3 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | -13.1 | -18.3 |

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

| | Max | Min |
|--|--------|--------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | 1302.4 | 1258.5 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 1295.4 | 1263.7 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | 1285.9 | 1141.0 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 1282.5 | 1148.1 |

VERIFICA A TAGLIO - SLU

| V_{Ed} = | 2517.9 KN | ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------|------------|----------------------------------|----------------------|
| f_{ck} = | 45.00 Mpa | v_{min} = | 0.375 Mpa |
| f_{cd} = | 25.50 Mpa | σ_{cp} = | 3.885 Mpa |
| f'_{cd} = | 12.75 Mpa | k = | 1.367 |
| f_{ctd} = | 1.77 Mpa | A_{sl} = | 94.0 cm ² |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | $\rho = A_{sl}/b_w d$ = | 0.012 |
| d = | 148.5 cm | γ_c = | 1.5 |
| b_w = | 51.6 cm | V_{Rd} = | 925.1 KN |

| ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| α_{cc} = | 1.152 |
| V_{Rcd} = | 5066.1 KN |
| $A_{sw}/s = A_{nec.}$ = | 50.96 cm ² /m |
| Staffe disposte 4 br. f10/5 | 57.01 cm ² /m |
| V_{Rsd} = | 2981.6 KN |
| $V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$ | 2981.6 KN |
| $V_{Rd} > V_{Ed}$ = | La verifica è soddisfatta |

VERIFICA A TORSIONE - SLU

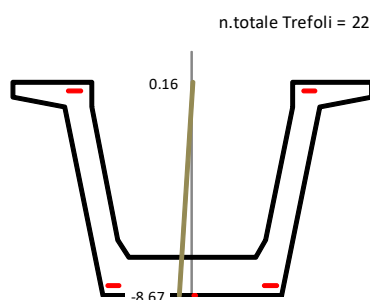
| Mt_{Ed} = | 797.5 KNm | Calcestruzzo | | Armatura longitudinali | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Armatura trasversali | | f'_{cd} = | 12.75 Mpa | u_m = | 5351.1 mm |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | t = | 252.8 mm | A_{minima} | 31.14 cm ² |
| θ | 45 ° | Ω | 1750972 mm ² | | |
| Ω | 1750972 mm ² | | | | |
| $A_{sw}/s = A_{nec.}$ = | 5.82 cm ² /m | T_{Rcd} = | 5643.7 KNm | | |
| T_{Rsd} = | 797.5 KNm | | | | |

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

| | | |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| $V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$ | 0.638 | La verifica è soddisfatta |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|

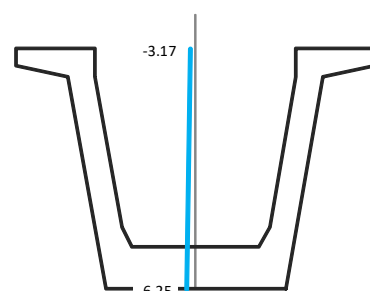
9.9 Verifica sezione n.10 – ascissa x = 2,772m

| | |
|--|-------------------|
| Effetto della precompressione Favorevole | σ_1 1251.0 |
| Ascissa di verifica | 2.77 m |
| Elemento di verifica | 10 |
| N. Gruppi Trefoli attivi | 2 |
| σ_{spi} Tensione di tesatura = | 1300.0 Mpa |
| Tensioni dopo le perdite elastiche | |
| Nprec. alla tesatura | -4290.0 KN |
| Mprec. alla tesatura | -1298.2 KNm |
| $\Delta N_{perdite\ elastiche}$ | 132.6 KN |
| $\Delta M_{perdite\ elastiche}$ | 69.6 KNm |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -8.67 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | 0.16 Mpa |



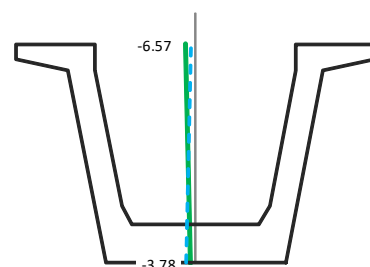
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

| | |
|--|-----------------------|
| N_0 | -4290.0 KN |
| M_0 | -471.5 KNm |
| A_{id} | 0.8661 mq |
| S_{id} | 0.5099 mc |
| Y_{bar} | 58.88 cm |
| J_{id} | 0.2014 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -6.25 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -3.17 Mpa |



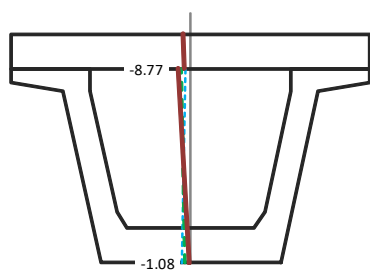
GETTO DELLA SOLETTA

| | |
|--|-----------------------|
| N_1 | 0.0 KN |
| M_1 | 845.7 KNm |
| A_{id} | 0.8661 mq |
| S_{id} | 0.5099 mc |
| Y_{bar} | 58.88 cm |
| J_{id} | 0.2014 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -3.78 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -6.57 Mpa |



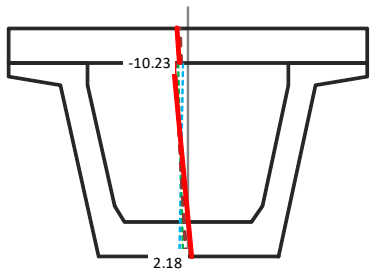
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|-----------|
| N_2 | -1415.5 KN | ΔP | 404.6 KN |
| M_2 | 1568.5 KNm | ΔMp | 223.8 KNm |
| A_{id} | 1.4578 mq | | |
| S_{id} | 1.4124 mc | | |
| Y_{bar} | 96.88 cm | | |
| J_{id} | 0.5126 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -1.08 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -8.77 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -4.56 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -5.43 Mpa | | |



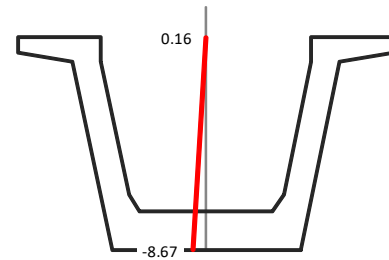
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|-----------|
| N_3 | 0.0 KN | ΔP | 404.6 KN |
| M_3 | 1725.7 KNm | ΔMp | 223.8 KNm |
| A_{id} | 1.4578 mq | | |
| S_{id} | 1.4124 mc | | |
| Y_{bar} | 96.88 cm | | |
| J_{id} | 0.5126 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | 2.18 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -10.23 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -6.01 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -7.73 Mpa | | |



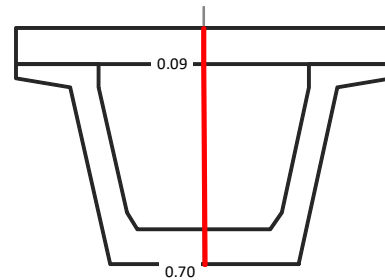
PERDITE ELASTICHE

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 132.6 |
|-----------------|---------------|-----|---------------------|------------------------|
| gruppo 1 | 1300.0 | --> | -49.0 | ΔM (KNm)= 69.6 |
| | | | | $\sigma_{inf} = -8.67$ |
| | | | | $\sigma_{sup} = 0.16$ |
| gruppo 4 | 1300.0 | --> | -0.6 | |



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 404.6 |
|-----------------|---------------|-----|---------------------|-------------------------|
| gruppo 1 | 1251.0 | --> | -108.2 | ΔM (KNm)= 223.8 |
| | | | | $\sigma_{inf} = 0.70$ |
| | | | | $\sigma_{sup} = 0.09$ |
| gruppo 4 | 1299.4 | --> | -187.3 | $\sigma_{ig} = 0.09$ |
| | | | | $\sigma_{ss} = -0.02$ |



TENSIONI ARMATURA LENTA

| | Max | Min |
|--|-------|-------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | -34.2 | -34.9 |
| GETTO DELLA SOLETTA | -22.0 | -22.6 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | -11.6 | -16.3 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 9.9 | -28.1 |

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

| | Max | Min |
|--|--------|--------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | 1299.4 | 1251.0 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 1281.5 | 1263.6 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | 1273.9 | 1082.8 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 1291.3 | 1075.7 |

VERIFICA A TAGLIO - SLU

| $V_{Ed} =$ | 2221.1 KN | ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------|------------|----------------------------------|----------------------|
| $f_{ck} =$ | 45.00 Mpa | $v_{min} =$ | 0.375 Mpa |
| $f_{cd} =$ | 25.50 Mpa | $\sigma_{cp} =$ | 4.953 Mpa |
| $f'_{cd} =$ | 12.75 Mpa | $k =$ | 1.367 |
| $f_{ctd} =$ | 1.77 Mpa | $A_{sl} =$ | 94.0 cm ² |
| $f_{yd} =$ | 391.30 Mpa | $\rho = A_{sl}/b_w d =$ | 0.018 |
| $d =$ | 148.5 cm | $\gamma_c =$ | 1.5 |
| $b_w =$ | 35.9 cm | $V_{Rd} =$ | 772.3 KN |

| ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| $\alpha_{cc} =$ | 1.194 |
| $V_{Rcd} =$ | 3655.3 KN |
| $A_{sw}/s = A_{nec.} =$ | 44.98 cm ² /m |
| Staffe disposte 4 br. f10/5 | 57.21 cm ² /m |
| $V_{Rsd} =$ | 2992.0 KN |
| $V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$ | 2992.0 KN |
| $V_{Rd} > V_{Ed} =$ | La verifica è soddisfatta |

VERIFICA A TORSIONE - SLU

| $Mt_{Ed} =$ | 835.4 KNm | ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO | | ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Armatura trasversali | | Calcestruzzo | | Armatura longitudinali | |
| $f_{yd} =$ | 391.30 Mpa | $f'_{cd} =$ | 12.75 Mpa | $u_m =$ | 5570.6 mm |
| $\theta =$ | 45 ° | $t =$ | 176 mm | $A_{minima} =$ | 31.31 cm ² |
| $\Omega =$ | 1899129 mm ² | $\Omega =$ | 1899129 mm ² | | |
| $A_{sw}/s = A_{nec.} =$ | 5.62 cm ² /m | $T_{Rcd} =$ | 4261.6 KNm | | |
| $T_{Rsd} =$ | 835.4 KNm | | | | |

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

| | | |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| $V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$ | 0.804 | La verifica è soddisfatta |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|

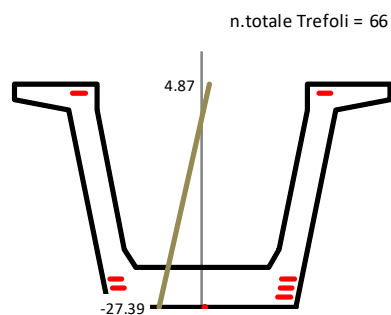
9.10 Verifica sezione n.34 – ascissa x = 10,164m

| | | | |
|--|---------|------------|--------|
| Effetto della precompressione Favorevole | | σ_1 | 1134.0 |
| Ascissa di verifica | 10.16 m | σ_2 | 1143.0 |
| Elemento di verifica | 34 | σ_3 | 1151.9 |
| N. Gruppi Trefoli attivi | 4 | σ_4 | 1324.7 |

σ_{spi} Tensione di tesatura = 1300.0 Mpa

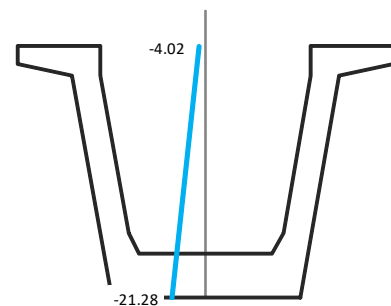
Tensioni dopo le perdite elastiche

| | |
|--|-------------|
| Nprec. alla tesatura | -12870.0 KN |
| Mprec. alla tesatura | -5119.1 KNm |
| $\Delta N_{perdite elastiche}$ | 1440.2 KN |
| $\Delta M_{perdite elastiche}$ | 664.6 KNm |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -27.39 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | 4.87 Mpa |



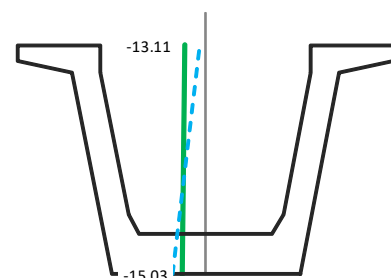
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

| | |
|--|-----------------------|
| N_0 | -12870.0 KN |
| M_0 | -2887.5 KNm |
| A_{id} | 0.9035 mq |
| S_{id} | 0.5155 mc |
| Y_{bar} | 57.06 cm |
| J_{id} | 0.2083 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -21.28 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -4.02 Mpa |



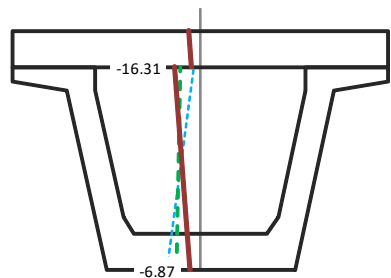
GETTO DELLA SOLETTA

| | |
|--|-----------------------|
| N_1 | 0.0 KN |
| M_1 | 2283.1 KNm |
| A_{id} | 0.9035 mq |
| S_{id} | 0.5155 mc |
| Y_{bar} | 57.06 cm |
| J_{id} | 0.2083 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -15.03 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -13.11 Mpa |



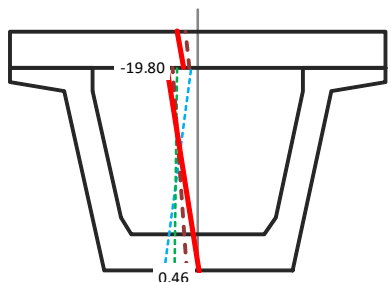
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|------------|
| N_2 | -1415.5 KN | ΔP | 2108.4 KN |
| M_2 | 2810.9 KNm | ΔMp | 1548.0 KNm |
| A_{id} | 1.4953 mq | | |
| S_{id} | 1.4180 mc | | |
| Y_{bar} | 94.83 cm | | |
| J_{id} | 0.5371 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -6.87 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -16.31 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -5.56 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -7.59 Mpa | | |



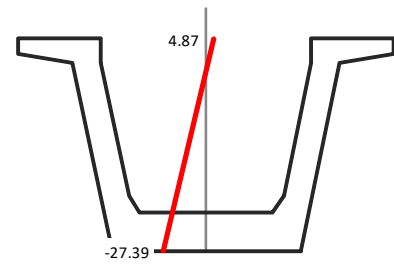
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|------------|
| N_3 | 0.0 KN | ΔP | 2108.4 KN |
| M_3 | 4149.6 KNm | ΔMp | 1548.0 KNm |
| A_{id} | 1.4953 mq | | |
| S_{id} | 1.4180 mc | | |
| Y_{bar} | 94.83 cm | | |
| J_{id} | 0.5371 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | 0.46 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -19.80 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -9.05 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -13.01 Mpa | | |



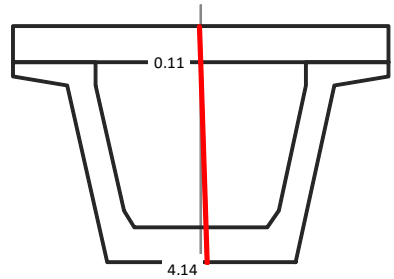
PERDITE ELASTICHE

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 1440.2 |
|----------|---------------|-----|---------------------|-------------------------|
| gruppo 1 | 1300.0 | --> | -166.0 | ΔM (KNm)= 664.6 |
| gruppo 2 | 1300.0 | --> | -157.0 | σ_{inf} = -27.39 |
| gruppo 3 | 1300.0 | --> | -148.1 | σ_{sup} = 4.87 |
| gruppo 4 | 1300.0 | --> | 24.7 | |



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 2108.4 |
|----------|---------------|-----|---------------------|--------------------------|
| gruppo 1 | 1134.0 | --> | -209.2 | ΔM (KNm)= 1548.0 |
| gruppo 2 | 1143.0 | --> | -208.6 | σ_{inf} = 4.14 |
| gruppo 3 | 1151.9 | --> | -211.9 | σ_{sup} = 0.11 |
| gruppo 4 | 1324.7 | --> | -260.1 | σ_{ls} = 0.11 |
| | | | | σ_{ss} = -0.61 |



TENSIONI ARMATURA LENTA

| | Max | Min |
|--|--------|--------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | -113.8 | -117.3 |
| GETTO DELLA SOLETTA | -84.5 | -84.9 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | -20.6 | -42.8 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | -1.5 | -55.1 |

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

| | Max | Min |
|--|--------|--------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | 1324.7 | 1134.0 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 1276.8 | 1165.8 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | 1259.8 | 1000.2 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 1242.6 | 984.1 |

VERIFICA A TAGLIO - SLU

| V_{Ed} = | 1126.2 KN | ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------|------------|----------------------------------|----------------------|
| f_{ck} = | 45.00 Mpa | v_{min} = | 0.375 Mpa |
| f_{cd} = | 25.50 Mpa | σ_{cp} = | 14.244 Mpa |
| f'_{cd} = | 12.75 Mpa | k = | 1.367 |
| f_{ctd} = | 1.77 Mpa | A_{s1} = | 94.0 cm ² |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | $\rho = A_{s1}/b_w d$ = | 0.018 |
| d = | 148.5 cm | γ_c = | 1.5 |
| b_w = | 35.9 cm | V_{Rd} = | 1515.7 KN |

La sezione non necessita di armatura resistente a taglio

VERIFICA A TORSIONE - SLU

| Mt_{Ed} = | 652.7 KNm | Calcestruzzo | | Armatura longitudinali | |
|-------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | f'_{cd} = | 12.75 Mpa | u_m = | 5570.6 mm |
| θ | 45 ° | t = | 176 mm | A_{minima} | 24.46 cm ² |
| Ω | 1899129 mm ² | Ω | 1899129 mm ² | | |
| $A_{sw}/s = A_{nec.}$ = | 4.39 cm ² /m | T_{Rcd} = | 4261.6 KNm | | |
| T_{Rsd} = | 652.7 KNm | | | | |

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

| | | |
|--------------------------------------|-------|---------------------------|
| $V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd}$ = | 0.487 | La verifica è soddisfatta |
|--------------------------------------|-------|---------------------------|

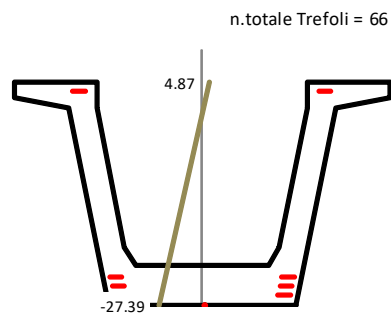
9.11 Verifica sezione n.51 – ascissa x = 15,4m

| | |
|--|-------------------|
| Effetto della precompressione Favorevole | σ_1 1134.0 |
| Ascissa di verifica 15.40 m | σ_2 1143.0 |
| Elemento di verifica 51 | σ_3 1151.9 |
| N. Gruppi Trefoli attivi 4 | σ_4 1324.7 |

σ_{spi} Tensione di tesatura = 1300.0 Mpa

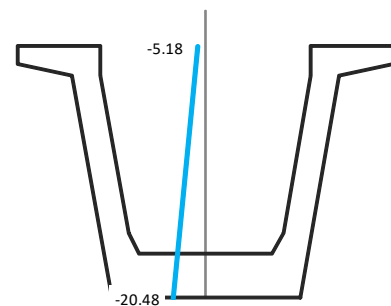
Tensioni dopo le perdite elastiche

| | |
|--|-------------|
| Nprec. alla tesatura | -12870.0 KN |
| Mprec. alla tesatura | -5119.1 KNm |
| $\Delta N_{perdite\ elastiche}$ | 1440.2 KN |
| $\Delta M_{perdite\ elastiche}$ | 664.6 KNm |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -27.39 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | 4.87 Mpa |



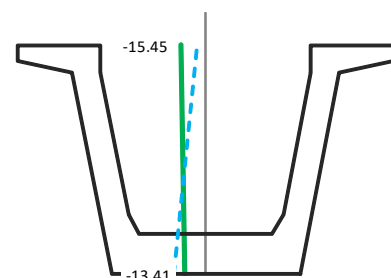
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

| | |
|--|-----------------------|
| N_0 | -12870.0 KN |
| M_0 | -2595.8 KNm |
| A_{id} | 0.9035 mq |
| S_{id} | 0.5155 mc |
| Y_{bar} | 57.06 cm |
| J_{id} | 0.2083 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -20.48 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -5.18 Mpa |



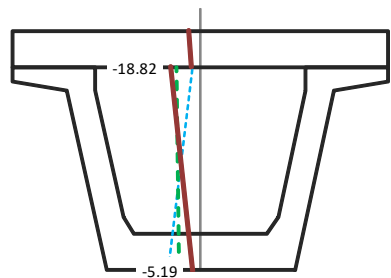
GETTO DELLA SOLETTA

| | |
|--|-----------------------|
| N_1 | 0.0 KN |
| M_1 | 2581.5 KNm |
| A_{id} | 0.9035 mq |
| S_{id} | 0.5155 mc |
| Y_{bar} | 57.06 cm |
| J_{id} | 0.2083 m ⁴ |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -13.41 Mpa |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -15.45 Mpa |



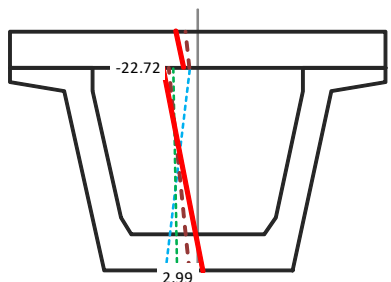
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|------------|
| N_2 | -1415.5 KN | ΔP | 1972.1 KN |
| M_2 | 3030.4 KNm | ΔMp | 1415.8 KNm |
| A_{id} | 1.4953 mq | | |
| S_{id} | 1.4180 mc | | |
| Y_{bar} | 94.83 cm | | |
| J_{id} | 0.5371 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | -5.19 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -18.82 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -5.73 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -7.80 Mpa | | |



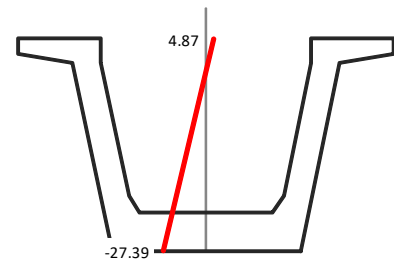
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

| | | | |
|---|-----------------------|-------------|------------|
| N_3 | 0.0 KN | ΔP | 1972.1 KN |
| M_3 | 4631.8 KNm | ΔMp | 1415.8 KNm |
| A_{id} | 1.4953 mq | | |
| S_{id} | 1.4180 mc | | |
| Y_{bar} | 94.83 cm | | |
| J_{id} | 0.5371 m ⁴ | | |
| Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} | 2.99 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} | -22.72 Mpa | | |
| Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} | -9.62 Mpa | | |
| Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} | -13.85 Mpa | | |



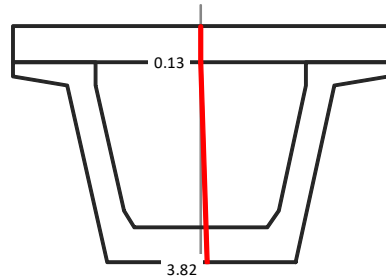
PERDITE ELASTICHE

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 1440.2 |
|----------|---------------|-----|---------------------|-------------------------|
| gruppo 1 | 1300.0 | --> | -166.0 | ΔM (KNm)= 664.6 |
| gruppo 2 | 1300.0 | --> | -157.0 | σ_{inf} = -27.39 |
| gruppo 3 | 1300.0 | --> | -148.1 | σ_{sup} = 4.87 |
| gruppo 4 | 1300.0 | --> | 24.7 | |



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

| | σ_{p0} | | $\Delta\sigma_{p0}$ | ΔN (KN)= 1972.1 |
|----------|---------------|-----|---------------------|--------------------------|
| gruppo 1 | 1134.0 | --> | -190.7 | ΔM (KNm)= 1415.8 |
| gruppo 2 | 1143.0 | --> | -192.2 | σ_{inf} = 3.82 |
| gruppo 3 | 1151.9 | --> | -197.3 | σ_{sup} = 0.13 |
| gruppo 4 | 1324.7 | --> | -286.1 | σ_{ie} = 0.13 |
| | | | | σ_{ss} = -0.53 |



TENSIONI ARMATURA LENTA

| | Max | Min |
|--|--------|--------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | -110.1 | -113.2 |
| GETTO DELLA SOLETTA | -76.6 | -77.0 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | -21.8 | -35.0 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 11.8 | -59.5 |

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

| | Max | Min |
|--|--------|--------|
| FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO | 1324.7 | 1134.0 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 1270.5 | 1170.0 |
| CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE | 1252.6 | 968.1 |
| CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE | 1236.5 | 948.9 |

VERIFICA A TAGLIO - SLU

| V_{Ed} = | 557.8 KN | ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO | |
|-------------|------------|----------------------------------|----------------------|
| f_{ck} = | 45.00 Mpa | v_{min} = | 0.375 Mpa |
| f_{cd} = | 25.50 Mpa | σ_{cp} = | 14.244 Mpa |
| f'_{cd} = | 12.75 Mpa | k = | 1.367 |
| f_{ctd} = | 1.77 Mpa | A_{s1} = | 94.0 cm ² |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | $\rho = A_{s1}/b_w d$ = | 0.018 |
| d = | 148.5 cm | γ_c = | 1.5 |
| b_w = | 35.9 cm | V_{Rd} = | 1515.7 KN |

La sezione non necessita di armatura resistente a taglio

VERIFICA A TORSIONE - SLU

| Mt_{Ed} = | 514.2 KNm | Calcestruzzo | | Armatura longitudinali | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Armatura trasversali | | f'_{cd} = | 12.75 Mpa | u_m = | 5570.6 mm |
| f_{yd} = | 391.30 Mpa | t = | 176 mm | A_{minima} | 19.27 cm ² |
| θ | 45 ° | Ω | 1899129 mm ² | | |
| Ω | 1899129 mm ² | | | | |
| $A_{sw}/s = A_{nec.}$ | 3.46 cm ² /m | T_{Rcd} = | 4261.6 KNm | | |
| T_{Rsd} = | 514.2 KNm | | | | |

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

| | | |
|--------------------------------------|-------|---------------------------|
| $V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$ | 0.286 | La verifica è soddisfatta |
|--------------------------------------|-------|---------------------------|

9.12 Verifica a rottura della sezione di mezzeria

Le azioni flettenti per la verifica a rottura della sezione di mezzeria valgono:

| | | | | | |
|---------------------|----------|---|------|---|--------|
| PESO PROPRIO | 2523 KNm | x | 1.35 | = | 3406.6 |
| GETTO DELLA SOLETTA | 2581 KNm | x | 1.35 | = | 3485.0 |
| CARICHI PERMANENTI | 2187 KNm | x | 1.5 | = | 3279.9 |
| CARICHI ACCIDENTALI | 4632 KNm | x | 1.5 | = | 6947.8 |

Momento flettente di calcolo M_{Ed}

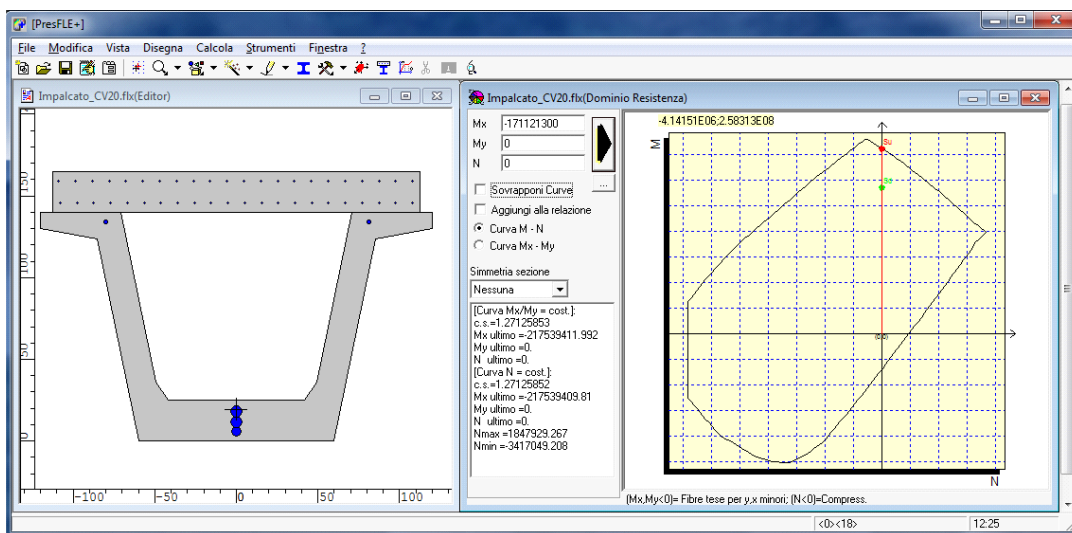
17119.27 KNm

Il valore della precompressione in mezzeria a meno delle perdite istantanee e differite e del coefficiente di combinazione allo SLU vale, in termini deformazioni:

| | CAVI DI PRECOMPRESSONE | | | |
|----------|------------------------|------------------|------------|-------------------|
| | y(cm) | ϕ_{eq} (mm) | ϵ | ϵ_{SLU} |
| gruppo 1 | 6.0 | 58.63 | 0.00496673 | 0.00447006 |
| gruppo 2 | 12.0 | 64.82 | 0.00496836 | 0.00447152 |
| gruppo 3 | 18.0 | 64.82 | 0.00495277 | 0.00445749 |
| gruppo 4 | 134.0 | 27.64 | 0.00469964 | 0.00422967 |

| | Armatura lenta | | |
|------|----------------|----|------------------|
| | y(cm) | n. | ϕ_{eq} (mm) |
| Arm1 | 5.0 | 12 | 16 |
| Arm2 | 10.0 | 10 | 16 |

| | | | |
|-------|-------|----|----|
| Arm11 | 146.0 | 22 | 12 |
| Arm12 | 159.0 | 22 | 12 |



Il momento resistente vale: **21753.94 KNm** c.s.= **1.2707** La verifica è soddisfatta

9.13 Verifiche a taglio – SLU

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

per elementi privi di armature resistenti a taglio

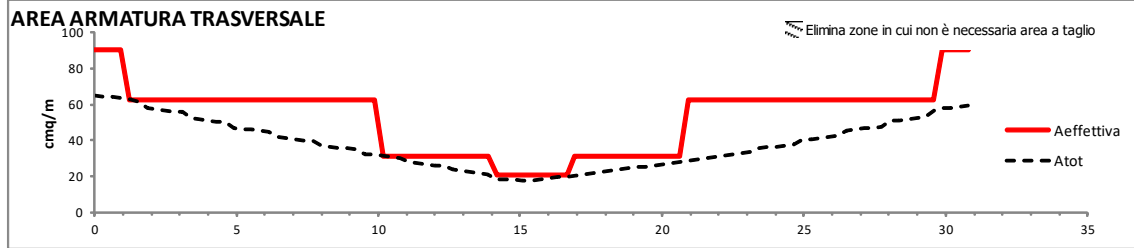
$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

per elementi con armature resistenti a taglio

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

A_{sw}/s (cm²/m)

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-----|------------------------|--------|----------|------------------------|-------|-----|
| $V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$ | | | | | θ | 45 ° | | |
| f _{ctd} | 1.77 | Mpa | f _{yd} | 391.30 | Mpa | d _{fase1} | 1260 | mm |
| f _{ck} | 45.00 | Mpa | γ _c | 1.5 | | v _{min fase2} | 0.375 | Mpa |
| f' _{cd} | 12.75 | Mpa | v _{min fase1} | 0.388 | Mpa | k _{fase2} | 1.367 | |
| f _{cd} | 25.50 | Mpa | k _{fase1} | 1.398 | | d _{fase2} | 1485 | mm |



| x(m) | Fase 1 - Sola trave in c.a.p. | | | | Fase 2 - Trave + soletta | | | | TOTALE | Staffe |
|-------|-------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| | V _{r,d} (KN) | V _{Ed} (KN) | V _{Rc,d} (KN) | A _{swcalc} /s | V _{r,d} (KN) | V _{Ed} (KN) | V _{Rc,d} (KN) | A _{swcalc} /s | A _{swcalc} /s | |
| 0.00 | 361.9 | 895.0 | 4072.5 | 20.17 | 507.4 | 1730.1 | 4799.7 | 33.08 | 53.25 | 4 br. f12/5 |
| 0.31 | 361.9 | 877.1 | 4072.5 | 19.77 | 507.4 | 1721.2 | 4799.7 | 32.91 | 52.68 | 4 br. f12/5 |
| 0.62 | 361.9 | 859.2 | 4072.5 | 19.36 | 507.4 | 1712.3 | 4799.7 | 32.74 | 52.10 | 4 br. f12/5 |
| 0.92 | 751.5 | 841.3 | 4657.0 | 18.96 | 966.6 | 1703.4 | 5488.6 | 32.57 | 51.53 | 4 br. f12/5 |
| 1.23 | 720.2 | 823.4 | 4298.5 | 18.56 | 925.1 | 1694.5 | 5066.1 | 32.40 | 50.96 | 4 br. f10/5 |
| 1.54 | 676.4 | 805.5 | 3820.8 | 18.15 | 867.1 | 1685.6 | 4503.0 | 32.23 | 50.38 | 4 br. f10/5 |
| 1.85 | 629.2 | 787.6 | 3340.1 | 17.75 | 805.0 | 1513.8 | 3936.6 | 28.95 | 46.70 | 4 br. f10/5 |
| 2.16 | 604.4 | 769.7 | 3101.4 | 17.35 | 772.3 | 1504.9 | 3655.3 | 28.78 | 46.12 | 4 br. f10/5 |
| 2.46 | 604.4 | 751.8 | 3101.4 | 16.94 | 772.3 | 1496.0 | 3655.3 | 28.61 | 45.55 | 4 br. f10/5 |
| 2.77 | 604.4 | 733.9 | 3101.4 | 16.54 | 772.3 | 1487.2 | 3655.3 | 28.44 | 44.98 | 4 br. f10/5 |
| 3.08 | 926.5 | 716.0 | 3246.2 | 16.14 | 1151.9 | 1478.3 | 3825.9 | 28.27 | 44.40 | 4 br. f10/5 |
| 3.39 | 926.5 | 698.1 | 3246.2 | 15.73 | 1151.9 | 1338.3 | 3825.9 | 25.59 | 41.32 | 4 br. f10/5 |
| 3.70 | 926.5 | 680.2 | 3246.2 | 15.33 | 1151.9 | 1329.4 | 3825.9 | 25.42 | 40.75 | 4 br. f10/5 |
| 4.00 | 926.5 | 662.3 | 3246.2 | 14.93 | 1151.9 | 1320.5 | 3825.9 | 25.25 | 40.18 | 4 br. f10/5 |
| 4.31 | 926.5 | 644.4 | 3246.2 | 14.52 | 1151.9 | 1311.6 | 3825.9 | 25.08 | 39.60 | 4 br. f10/5 |
| 4.62 | 926.5 | 626.5 | 3246.2 | 14.12 | 1151.9 | 1302.7 | 3825.9 | 24.91 | 39.03 | 4 br. f10/5 |
| 4.93 | 926.5 | 608.6 | 3246.2 | 13.72 | 1151.9 | 1189.5 | 3825.9 | 22.75 | 36.46 | 4 br. f10/5 |
| 5.24 | 926.5 | 590.7 | 3246.2 | 13.31 | 1151.9 | 1180.7 | 3825.9 | 22.58 | 35.89 | 4 br. f10/5 |
| 5.54 | 926.5 | 572.8 | 3246.2 | 12.91 | 1151.9 | 1171.8 | 3825.9 | 22.41 | 35.31 | 4 br. f10/5 |
| 5.85 | 926.5 | 554.9 | 3246.2 | 12.51 | 1151.9 | 1162.9 | 3825.9 | 22.24 | 34.74 | 4 br. f10/5 |
| 6.16 | 1235.2 | 537.0 | 2865.8 | 12.10 | 1515.7 | 1154.0 | 3377.5 | 22.07 | 34.17 | 4 br. f10/5 |
| 6.47 | 1235.2 | 519.1 | 2865.8 | 11.70 | 1515.7 | 1060.6 | 3377.5 | 20.28 | 31.98 | 4 br. f10/5 |
| 6.78 | 1235.2 | 501.2 | 2865.8 | 11.30 | 1515.7 | 1051.7 | 3377.5 | 20.11 | 31.41 | 4 br. f10/5 |
| 7.08 | 1235.2 | 483.3 | 2865.8 | 10.89 | 1515.7 | 1042.8 | 3377.5 | 19.94 | 30.83 | 4 br. f10/5 |
| 7.39 | 1235.2 | 465.4 | 2865.8 | 10.49 | 1515.7 | 1033.9 | 3377.5 | 19.77 | 30.26 | 4 br. f10/5 |
| 7.70 | 1235.2 | 447.5 | 2865.8 | 10.08 | 1515.7 | 1025.1 | 3377.5 | 19.60 | 29.69 | 4 br. f10/5 |
| 8.01 | 1235.2 | 429.6 | 2865.8 | 9.68 | 1515.7 | 945.4 | 3377.5 | 18.08 | 27.76 | 4 br. f10/5 |
| 8.32 | 1235.2 | 411.7 | 2865.8 | 9.28 | 1515.7 | 936.5 | 3377.5 | 17.91 | 27.18 | 4 br. f10/5 |
| 8.62 | 1235.2 | 393.8 | 2865.8 | 8.87 | 1515.7 | 927.6 | 3377.5 | 17.74 | 26.61 | 4 br. f10/5 |
| 8.93 | 1235.2 | 375.9 | 2865.8 | 8.47 | 1515.7 | 918.7 | 3377.5 | 17.57 | 26.04 | 4 br. f10/5 |
| 9.24 | 1235.2 | 358.0 | 2865.8 | 8.07 | 1515.7 | 909.8 | 3377.5 | 17.40 | 25.46 | 4 br. f10/5 |
| 9.55 | 1235.2 | 340.1 | 2865.8 | 7.66 | 1515.7 | 839.6 | 3377.5 | 16.05 | 23.72 | 4 br. f10/5 |
| 9.86 | 1235.2 | 322.2 | 2865.8 | 7.26 | 1515.7 | 830.7 | 3377.5 | 15.88 | 23.15 | 4 br. f10/5 |
| 10.16 | 1235.2 | 304.3 | 2865.8 | 6.86 | 1515.7 | 821.9 | 3377.5 | 15.71 | 22.57 | 4 br. f10/10 |
| 10.47 | 1235.2 | 286.4 | 2865.8 | 6.45 | 1515.7 | 813.0 | 3377.5 | 15.54 | 22.00 | 4 br. f10/10 |
| 10.78 | 1235.2 | 268.5 | 2865.8 | 6.05 | 1515.7 | 804.1 | 3377.5 | 15.38 | 21.43 | 4 br. f10/10 |
| 11.09 | 1235.2 | 250.6 | 2865.8 | 5.65 | 1515.7 | 741.1 | 3377.5 | 14.17 | 19.82 | 4 br. f10/10 |
| 11.40 | 1235.2 | 232.7 | 2865.8 | 5.24 | 1515.7 | 732.2 | 3377.5 | 14.00 | 19.25 | 4 br. f10/10 |
| 11.70 | 1235.2 | 214.8 | 2865.8 | 4.84 | 1515.7 | 723.3 | 3377.5 | 13.83 | 18.67 | 4 br. f10/10 |
| 12.01 | 1235.2 | 196.9 | 2865.8 | 4.44 | 1515.7 | 714.5 | 3377.5 | 13.66 | 18.10 | 4 br. f10/10 |
| 12.32 | 1235.2 | 179.0 | 2865.8 | 4.03 | 1515.7 | 705.6 | 3377.5 | 13.49 | 17.53 | 4 br. f10/10 |
| 12.63 | 1235.2 | 161.1 | 2865.8 | 3.63 | 1515.7 | 648.5 | 3377.5 | 12.40 | 16.03 | 4 br. f10/10 |
| 12.94 | 1235.2 | 143.2 | 2865.8 | 3.23 | 1515.7 | 639.7 | 3377.5 | 12.23 | 15.46 | 4 br. f10/10 |
| 13.24 | 1235.2 | 125.3 | 2865.8 | 2.82 | 1515.7 | 630.8 | 3377.5 | 12.06 | 14.88 | 4 br. f10/10 |
| 13.55 | 1235.2 | 107.4 | 2865.8 | 2.42 | 1515.7 | 621.9 | 3377.5 | 11.89 | 14.31 | 4 br. f10/10 |
| 13.86 | 1235.2 | 89.5 | 2865.8 | 2.02 | 1515.7 | 613.0 | 3377.5 | 11.72 | 13.74 | 4 br. f10/10 |
| 14.17 | 1235.2 | 71.6 | 2865.8 | 1.61 | 1515.7 | 522.2 | 3377.5 | 9.99 | 11.60 | 4 br. f10/15 |
| 14.48 | 1235.2 | 53.7 | 2865.8 | 1.21 | 1515.7 | 531.1 | 3377.5 | 10.16 | 11.37 | 4 br. f10/15 |
| 14.78 | 1235.2 | 35.8 | 2865.8 | 0.81 | 1515.7 | 540.0 | 3377.5 | 10.33 | 11.13 | 4 br. f10/15 |
| 15.09 | 1235.2 | 17.9 | 2865.8 | 0.40 | 1515.7 | 548.9 | 3377.5 | 10.50 | 10.90 | 4 br. f10/15 |
| 15.40 | 1235.2 | 0.0 | 2865.8 | 0.00 | 1515.7 | 557.8 | 3377.5 | 10.67 | 10.67 | 4 br. f10/15 |

9.14 Verifiche a torsione – SLU

$\theta = 45^\circ$ A_{sw}/s (cm²/m) $T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_i}{u_m} \cdot f_{yd} / \text{ctg}\theta$ $T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg}\theta$ $T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \text{ctg}\theta / (1 + \text{ctg}^2\theta)$
 $f'_{cd} = 12.75$ Mpa

| x(m) | TORSIONE | | | | | | | | | |
|-------|------------------------|-----------|--------|------------------------|--------------------|-------|---|--------|---------------------|-------------------------------|
| | Mt _{Ed} (KNm) | A=Ω (mmq) | t (mm) | T _{Rcd} (KNm) | A _{sw} /s | I | V _{Ed} /V _{Rcd} +Mt _{Ed} /T _{Rcd} | Staffe | u _m (mm) | Arm. Long. (cm ²) |
| 0.00 | 797.5 | 1707281 | 276.0 | 6007.9 | 5.97 | 0.680 | 4 br. f12/5 | 5284.8 | 31.5 | |
| 0.31 | 797.5 | 1707281 | 276.0 | 6007.9 | 5.97 | 0.674 | 4 br. f12/5 | 5284.8 | 31.5 | |
| 0.62 | 797.5 | 1707281 | 276.0 | 6007.9 | 5.97 | 0.668 | 4 br. f12/5 | 5284.8 | 31.5 | |
| 0.92 | 797.5 | 1707281 | 276.0 | 6007.9 | 5.97 | 0.596 | 4 br. f12/5 | 5284.8 | 31.5 | |
| 1.23 | 797.5 | 1750972 | 252.8 | 5643.7 | 5.82 | 0.638 | 4 br. f10/5 | 5351.1 | 31.1 | |
| 1.54 | 797.5 | 1809738 | 222.0 | 5122.5 | 5.63 | 0.709 | 4 br. f10/5 | 5439.1 | 30.6 | |
| 1.85 | 835.4 | 1869376 | 191.2 | 4557.2 | 5.71 | 0.768 | 4 br. f10/5 | 5527.1 | 31.6 | |
| 2.16 | 835.4 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.62 | 0.818 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 31.3 | |
| 2.46 | 835.4 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.62 | 0.811 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 31.3 | |
| 2.77 | 835.4 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.62 | 0.804 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 31.3 | |
| 3.08 | 835.4 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.62 | 0.770 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 31.3 | |
| 3.39 | 820.6 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.52 | 0.725 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 30.8 | |
| 3.70 | 820.6 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.52 | 0.718 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 30.8 | |
| 4.00 | 820.6 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.52 | 0.711 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 30.8 | |
| 4.31 | 820.6 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.52 | 0.704 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 30.8 | |
| 4.62 | 820.6 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.52 | 0.697 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 30.8 | |
| 4.93 | 783.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.27 | 0.654 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 29.4 | |
| 5.24 | 783.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.27 | 0.647 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 29.4 | |
| 5.54 | 783.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.27 | 0.640 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 29.4 | |
| 5.85 | 783.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.27 | 0.633 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 29.4 | |
| 6.16 | 783.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 5.27 | 0.685 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 29.4 | |
| 6.47 | 740.8 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.98 | 0.642 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 27.8 | |
| 6.78 | 740.8 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.98 | 0.634 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 27.8 | |
| 7.08 | 740.8 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.98 | 0.626 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 27.8 | |
| 7.39 | 740.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.98 | 0.618 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 27.8 | |
| 7.70 | 740.9 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.98 | 0.610 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 27.8 | |
| 8.01 | 697.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.69 | 0.571 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 26.1 | |
| 8.32 | 697.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.69 | 0.563 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 26.1 | |
| 8.62 | 697.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.69 | 0.555 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 26.1 | |
| 8.93 | 697.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.69 | 0.547 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 26.1 | |
| 9.24 | 697.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.69 | 0.539 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 26.1 | |
| 9.55 | 652.7 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.39 | 0.502 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 24.5 | |
| 9.86 | 652.7 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.39 | 0.495 | 4 br. f10/5 | 5570.6 | 24.5 | |
| 10.16 | 652.7 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.39 | 0.487 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 24.5 | |
| 10.47 | 652.7 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.39 | 0.479 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 24.5 | |
| 10.78 | 652.7 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.39 | 0.471 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 24.5 | |
| 11.09 | 607.0 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.08 | 0.436 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 22.7 | |
| 11.40 | 607.0 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.08 | 0.428 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 22.7 | |
| 11.70 | 607.0 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.08 | 0.420 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 22.7 | |
| 12.01 | 607.0 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.08 | 0.412 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 22.7 | |
| 12.32 | 607.0 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 4.08 | 0.404 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 22.7 | |
| 12.63 | 560.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.77 | 0.371 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 21.0 | |
| 12.94 | 560.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.77 | 0.363 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 21.0 | |
| 13.24 | 560.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.77 | 0.355 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 21.0 | |
| 13.55 | 560.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.77 | 0.347 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 21.0 | |
| 13.86 | 560.5 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.77 | 0.340 | 4 br. f10/10 | 5570.6 | 21.0 | |
| 14.17 | 514.2 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.46 | 0.296 | 4 br. f10/15 | 5570.6 | 19.3 | |
| 14.48 | 514.2 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.46 | 0.294 | 4 br. f10/15 | 5570.6 | 19.3 | |
| 14.78 | 514.2 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.46 | 0.291 | 4 br. f10/15 | 5570.6 | 19.3 | |
| 15.09 | 514.2 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.46 | 0.288 | 4 br. f10/15 | 5570.6 | 19.3 | |
| 15.40 | 514.2 | 1899129 | 176.0 | 4261.6 | 3.46 | 0.286 | 4 br. f10/15 | 5570.6 | 19.3 | |

9.15 Verifiche connettori trave-soletta

Per il calcolo dei connettori si valuta con la formula di Jourawsky lo scorrimento presente all'interfaccia trave-soletta indotto dal taglio dovuto ai carichi permanenti e ai carichi accidentali e alla torsione dovuta ai carichi accidentali:

Scorrimento = TS/J S = Momento statico della soletta rispetto al baricentro J = Momento d'inerzia della sezione

y_g = posizione baricentro da intradosso

| x(m) | T_{perm} (KN) | T_{acc} (KN) | $T_{torsione}$ (KN) | T (KN) | S (cm ³) | J (cm ⁴) | TS/J (KN/m) | $A_{s\text{wcalc}}/s$ cm ² /m | Connettori suggeriti |
|-------|-----------------|----------------|---------------------|--------|----------------------|----------------------|-------------|--|----------------------|
| 0.00 | -309.4 | -843.9 | 770.8 | -382.6 | 282656 | 56062561 | 192.9 | 8.5 | 4 br. f10/30 |
| 0.31 | -303.5 | -843.9 | 770.8 | -376.7 | 282656 | 56062561 | 189.9 | 8.4 | 4 br. f10/30 |
| 0.62 | -297.6 | -843.9 | 770.8 | -370.8 | 282656 | 56062561 | 186.9 | 8.3 | 4 br. f10/30 |
| 0.92 | -291.7 | -843.9 | 770.8 | -364.8 | 286710 | 57269469 | 182.7 | 8.1 | 4 br. f10/30 |
| 1.23 | -285.7 | -843.9 | 751.5 | -378.1 | 282002 | 56130076 | 190.0 | 8.4 | 4 br. f10/30 |
| 1.54 | -279.8 | -843.9 | 727.1 | -396.6 | 274272 | 54403113 | 200.0 | 8.9 | 4 br. f10/30 |
| 1.85 | -270.9 | -738.3 | 737.4 | -271.8 | 264470 | 52383446 | 137.2 | 6.1 | 4 br. f10/30 |
| 2.16 | -265.0 | -738.3 | 725.8 | -277.5 | 258708 | 51259073 | 140.0 | 6.2 | 4 br. f10/30 |
| 2.46 | -259.1 | -738.3 | 725.8 | -271.5 | 258708 | 51259073 | 137.0 | 6.1 | 4 br. f10/30 |
| 2.77 | -253.2 | -738.3 | 725.8 | -265.6 | 258708 | 51259073 | 134.1 | 5.9 | 4 br. f10/30 |
| 3.08 | -247.3 | -738.3 | 725.8 | -259.7 | 265170 | 52591885 | 130.9 | 5.8 | 4 br. f10/30 |
| 3.39 | -237.8 | -654.4 | 712.9 | -179.3 | 265170 | 52591885 | 90.4 | 4.0 | 4 br. f10/30 |
| 3.70 | -231.9 | -654.4 | 712.9 | -173.3 | 265170 | 52591885 | 87.4 | 3.9 | 4 br. f10/30 |
| 4.00 | -226.0 | -654.4 | 712.9 | -167.4 | 265170 | 52591885 | 84.4 | 3.7 | 4 br. f10/30 |
| 4.31 | -220.0 | -654.4 | 712.9 | -161.5 | 265170 | 52591885 | 81.4 | 3.6 | 4 br. f10/30 |
| 4.62 | -214.1 | -654.4 | 712.9 | -155.6 | 265170 | 52591885 | 78.4 | 3.5 | 4 br. f10/30 |
| 4.93 | -204.6 | -588.5 | 681.1 | -111.9 | 265170 | 52591885 | 56.4 | 2.5 | 4 br. f10/30 |
| 5.24 | -198.7 | -588.5 | 681.1 | -106.0 | 265170 | 52591885 | 53.5 | 2.4 | 4 br. f10/30 |
| 5.54 | -192.7 | -588.5 | 681.1 | -100.1 | 265170 | 52591885 | 50.5 | 2.2 | 4 br. f10/30 |
| 5.85 | -186.8 | -588.5 | 681.1 | -94.2 | 265170 | 52591885 | 47.5 | 2.1 | 4 br. f10/30 |
| 6.16 | -180.9 | -588.5 | 681.1 | -88.2 | 271019 | 53711899 | 44.5 | 2.0 | 4 br. f10/30 |
| 6.47 | -171.5 | -535.5 | 643.7 | -63.4 | 271019 | 53711899 | 32.0 | 1.4 | 4 br. f10/30 |
| 6.78 | -165.6 | -535.5 | 643.7 | -57.5 | 271019 | 53711899 | 29.0 | 1.3 | 4 br. f10/30 |
| 7.08 | -159.7 | -535.5 | 643.7 | -51.6 | 271019 | 53711899 | 26.0 | 1.2 | 4 br. f10/30 |
| 7.39 | -153.8 | -535.5 | 643.7 | -45.6 | 271019 | 53711899 | 23.0 | 1.0 | 4 br. f10/30 |
| 7.70 | -147.9 | -535.5 | 643.7 | -39.7 | 271019 | 53711899 | 20.0 | 0.9 | 4 br. f10/30 |
| 8.01 | -138.9 | -491.3 | 606.0 | -24.2 | 271019 | 53711899 | 12.2 | 0.5 | 4 br. f10/30 |
| 8.32 | -133.0 | -491.3 | 606.0 | -18.3 | 271019 | 53711899 | 9.2 | 0.4 | 4 br. f10/30 |
| 8.62 | -127.1 | -491.3 | 606.0 | -12.4 | 271019 | 53711899 | 6.3 | 0.3 | 4 br. f10/30 |
| 8.93 | -121.2 | -491.3 | 606.0 | -6.5 | 271019 | 53711899 | 3.3 | 0.1 | 4 br. f10/30 |
| 9.24 | -115.2 | -491.3 | 606.0 | -0.6 | 271019 | 53711899 | 0.3 | 0.0 | 4 br. f10/30 |
| 9.55 | -106.8 | -452.9 | 567.1 | 7.4 | 271019 | 53711899 | 3.7 | 0.2 | 4 br. f10/30 |
| 9.86 | -100.9 | -452.9 | 567.1 | 13.3 | 271019 | 53711899 | 6.7 | 0.3 | 4 br. f10/30 |
| 10.16 | -95.0 | -452.9 | 567.1 | 19.2 | 271019 | 53711899 | 9.7 | 0.4 | 4 br. f10/30 |
| 10.47 | -89.1 | -452.9 | 567.1 | 25.1 | 271019 | 53711899 | 12.7 | 0.6 | 4 br. f10/30 |
| 10.78 | -83.1 | -452.9 | 567.1 | 31.1 | 271019 | 53711899 | 15.7 | 0.7 | 4 br. f10/30 |
| 11.09 | -75.4 | -418.7 | 527.3 | 33.3 | 271019 | 53711899 | 16.8 | 0.7 | 4 br. f10/30 |
| 11.40 | -69.4 | -418.7 | 527.3 | 39.2 | 271019 | 53711899 | 19.8 | 0.9 | 4 br. f10/30 |
| 11.70 | -63.5 | -418.7 | 527.3 | 45.1 | 271019 | 53711899 | 22.8 | 1.0 | 4 br. f10/30 |
| 12.01 | -57.6 | -418.7 | 527.3 | 51.0 | 271019 | 53711899 | 25.7 | 1.1 | 4 br. f10/30 |
| 12.32 | -51.7 | -418.7 | 527.3 | 56.9 | 271019 | 53711899 | 28.7 | 1.3 | 4 br. f10/30 |
| 12.63 | -44.5 | -387.8 | 487.0 | 54.6 | 271019 | 53711899 | 27.6 | 1.2 | 4 br. f10/30 |
| 12.94 | -38.6 | -387.8 | 487.0 | 60.6 | 271019 | 53711899 | 30.6 | 1.4 | 4 br. f10/30 |
| 13.24 | -32.7 | -387.8 | 487.0 | 66.5 | 271019 | 53711899 | 33.5 | 1.5 | 4 br. f10/30 |
| 13.55 | -26.8 | -387.8 | 487.0 | 72.4 | 271019 | 53711899 | 36.5 | 1.6 | 4 br. f10/30 |
| 13.86 | -20.9 | -387.8 | 487.0 | 78.3 | 271019 | 53711899 | 39.5 | 1.7 | 4 br. f10/30 |
| 14.17 | -14.4 | 362.6 | 446.8 | 79.9 | 271019 | 53711899 | 401.1 | 17.8 | 4 br. f10/15 |
| 14.48 | -8.5 | 362.6 | 446.8 | 800.8 | 271019 | 53711899 | 404.1 | 17.9 | 4 br. f10/15 |
| 14.78 | -2.6 | 362.6 | 446.8 | 806.7 | 271019 | 53711899 | 407.1 | 18.0 | 4 br. f10/15 |
| 15.09 | 3.4 | 362.6 | 446.8 | 812.7 | 271019 | 53711899 | 410.1 | 18.2 | 4 br. f10/15 |
| 15.40 | 9.3 | 362.6 | 446.8 | 818.6 | 271019 | 53711899 | 413.0 | 18.3 | 4 br. f10/15 |

9.16 Verifica all'urto dei veicoli in svio

Criteria generali e oggetto delle verifiche

L'azione eccezionale dovuta all'urto di veicoli in svio sulle barriere di sicurezza stradali verrà tenuta in considerazione operando le verifiche di resistenza degli eventuali sbalzi della soletta in c.a. (sezione S1 della seguente immagine) e della sezione di attacco del cordolo alla soletta (Sezione S2).

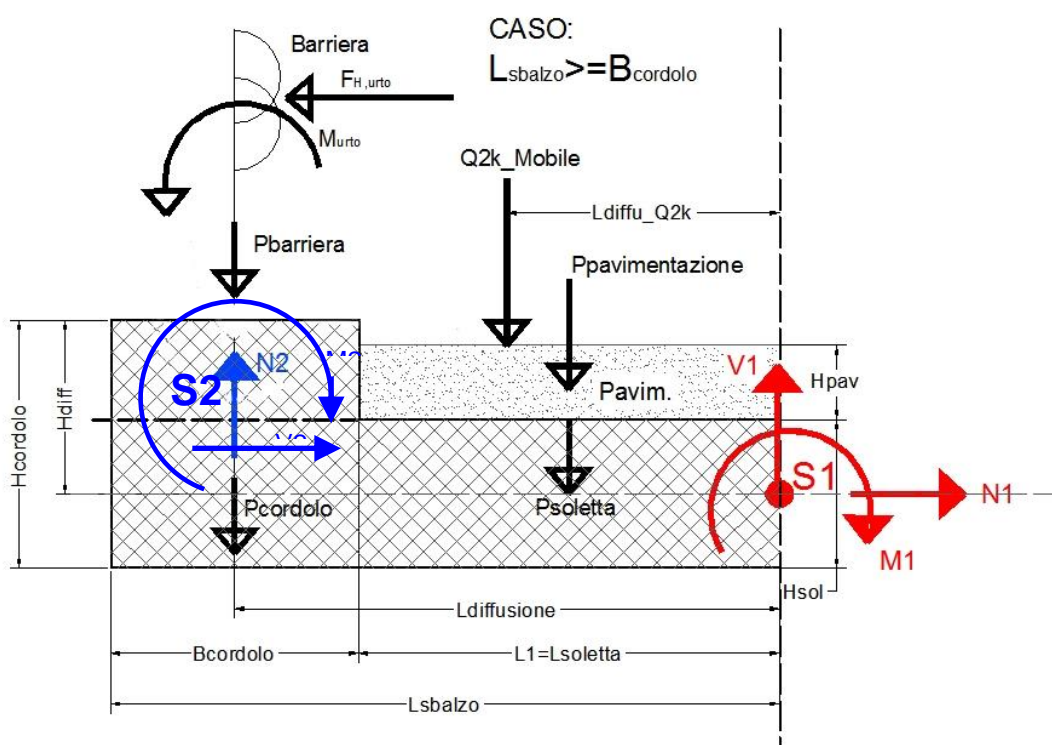


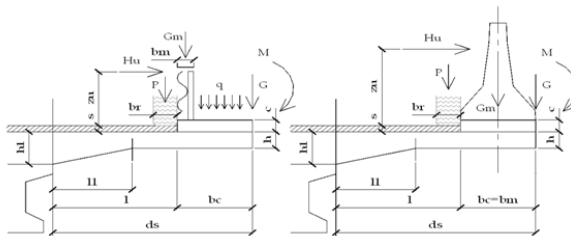
Figura 9-1 – Sezioni di verifica all'azione eccezionale dovuta all'urto del veicolo in svio

Si intendono escluse le verifiche riguardanti i cinematismi locali di rottura inerenti il collegamento della barriera di sicurezza al cordolo di coronamento sotto le azioni indotte dall'urto veicolare; più genericamente, si intende esclusa la verifica del funzionamento cinematico dell'intera barriera.

9.17 Verifica dello sbalzo della soletta (Sezione S₁)

Le verifiche della soletta sono riportate nel dettaglio delle schede seguenti in termini di capacità portante ultima della sezione sia a flessione sia a taglio.

AZIONI E VERIFICHE ELEMENTI A SBALZO (NTC 2018) - 1/2
CAVALCAVIA CV20



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| Spessore minimo della soletta (m) | | h_{-} | 0.25 | | | | |
| Spessore massimo della soletta (m) | | $h1_{-}$ | 0.25 | | | | |
| Tratto a spessore variabile (m) | | $h1_{-}$ | 0 | | | | |
| Copriferro armatura in zona compressa (m) | | cfs_{-} | 0.06 | | | | |
| Copriferro armatura in zona tesa (m) | | cfi_{-} | 0.06 | | | | |
| Armatura in zona compressa (mq) | | as_{-} | 0.000770 | | | | |
| | ϕ (mm) | int (cm) | | ϕ (mm) | int (cm) | ϕ (mm) | int (cm) |
| | 14 | 20 | | | | | |
| Armatura in zona tesa (mq) | | | | ai_{-} | 0.001272 | | |
| | ϕ (mm) | int (cm) | | ϕ (mm) | int (cm) | ϕ (mm) | int (cm) |
| | 18 | 20 | + | | | | |
| Altezza del cordolo (m) | | c_{-} | 0.17 | | | | |
| Spessore della pavimentazione (m) | | s_{-} | 0.1 | | | | |
| Dimensione sbalzo carrabile (m) | | l_{-} | 0.7 | | | | |
| Larghezza cordolo (m) | | bc_{-} | 0.75 | | | | |
| Azione permanente barriera (KN/ml) | | Gm_{-} | 1.0 | | | | |
| Azione permanente a filo esterno cordolo (KN/ml) | | G_{-} | 7.5 | | | | |
| Momento azione permanente a filo esterno cordolo (KNm/ml) | | M_{-} | 0 | | | | |
| Azione accidentale sul cordolo (KN/mq) | | q_{-} | 0 | | | | |
| Dimensione totale dello sbalzo (m) | | ds_{-} | 1.45 | | | | |
| Altezza utile della sezione (m) | | d_{-} | 0.19 | | | | |

| | | | | | | |
|------|------|--|--------|-------|--------|-------|
| CM | 2 | | | N | T | M |
| Linf | 0.50 | | mobile | | 104.25 | 18.95 |
| | | | urto | 58.00 | | 31.85 |
| Lsup | 0.75 | | mobile | | 137.98 | 35.41 |
| | | | urto | 48.37 | | 25.45 |

AZIONI ELEMENTARI E SOLLECITAZIONI A ml DI SEZIONE

| | | | | | |
|--|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | N | T | M |
| | | (KN/m) | (KN) | (KN) | (KNm) |
| Peso proprio della soletta | | | | 9.06 | 6.57 |
| Peso proprio cordolo | | 4.25 | | 3.19 | 3.43 |
| Peso proprio pavimentazione | | 2.20 | | 1.54 | 0.54 |
| Azione permanente barriera | | | | 1.00 | 1.03 |
| Azione permanente a filo esterno cordolo | | | | 7.50 | 10.88 |
| Azione accidentale carico mobile | | | | 131.23 | 32.12 |
| Azione accidentale dovuta all'urto | | | 50.30 | | 26.73 |
| Azione accidentale sul cordolo | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| TOTALE AZIONE PERMANENTE | 1.00 | 0.00 | | 22.29 | 22.44 |
| TOTALE AZIONE ACCIDENTALE | 1.00 | 50.30 | | 131.23 | 58.85 |
| TOTALI AZIONI DI CALCOLO FASE I (sol+cord) | | | | 0.00 | 12.25 |
| TOTALI AZIONI DI CALCOLO FASE II (perm+acc) - Urto non fattorizzato | | | 50.30 | 141.27 | 71.29 |
| TOTALI AZIONI DI CALCOLO FASE I+II | | | 50.30 | 153.52 | 81.29 |

Azioni e verifiche elementi a sbalzo

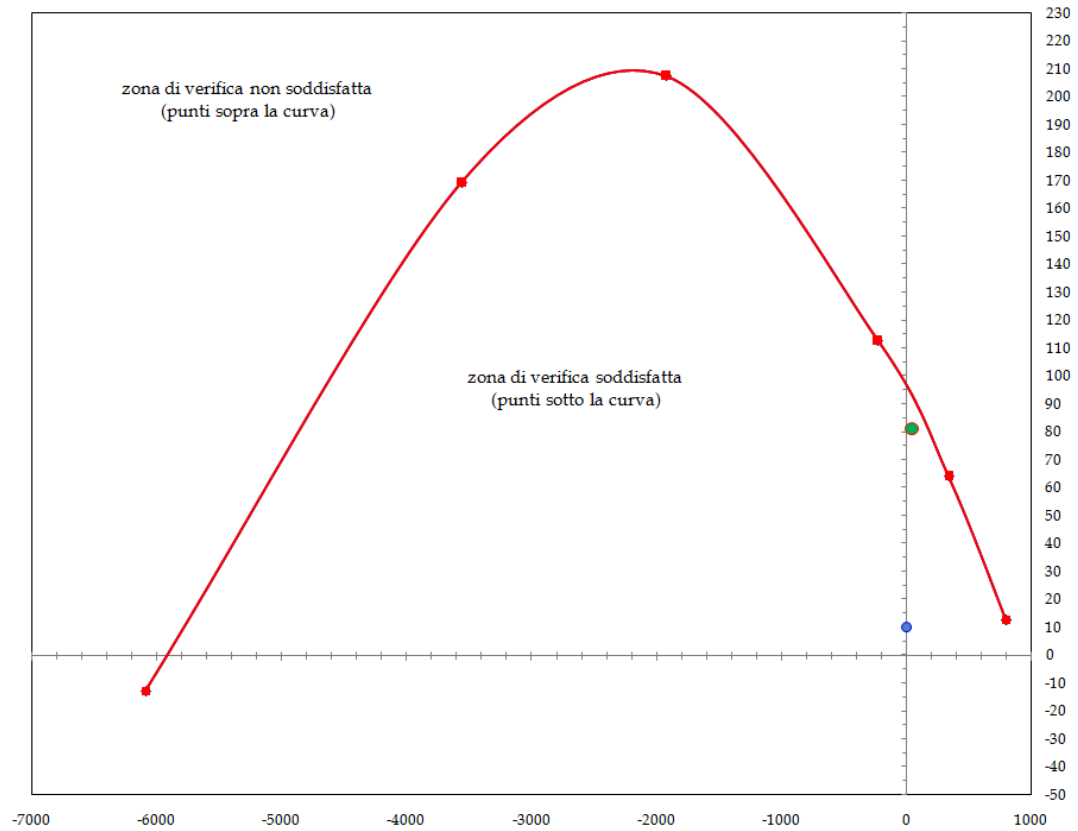
Le armature presenti nella sezione di verifica A sono costituite da f18/20 per un'area complessiva di 12.72 cmq/ml.

La verifica a flessione risulta soddisfatta: non sono dunque necessarie armature integrative in soletta.

AZIONI E VERIFICHE ELEMENTI A SBALZO (NTC 2018) - 2/2

| | | | | | | | |
|---|--------|----------|---|--------|----------|-------|----------|
| Resistenza cubica del calcestruzzo (Mpa) | | | | | | Rck_ | 45 |
| Tensione di snervamento dell'acciaio presente (Mpa) | | | | | | fy_ | 450 |
| Coefficiente di conservazione del calcestruzzo | | | | | | θc_ | 1.00 |
| Coefficiente di conservazione dell'acciaio | | | | | | θs_ | 1.00 |
| Tensione di snervamento dell'acciaio di rinforzo (Mpa) | | | | | | Δfy_ | 450 |
| Area di acciaio di rinforzo (mq) | | | | | | Δai_ | 0.000000 |
| | φ (mm) | int (cm) | | φ (mm) | int (cm) | | |
| | | | + | | | + | |
| Larghezza sezione di verifica (m) | | | | | | b_ | 1.00 |
| Resistenza cilindrica $f_{ck} = 0.83 \times R_{cK} \times \theta_c$ (KN/mm ²) | | | | | | fck_ | 37 350 |
| Resistenza di calcolo $f_{cd} = f_{ck} / 1.5$ (KN/mq) | | | | | | fcd_ | 24 900 |
| Resistenza di calcolo ridotta $f_{rd} = f_{cd} \times 0.85$ (KN/mq) | | | | | | frd_ | 21 165 |
| Resistenza $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{(2/3)}$ (KN/mq) | | | | | | fctm_ | 3 352 |
| Resistenza $f_{ctd} = 0.7 \times f_{ctm} / 1.5$ (KN/mq) | | | | | | fctd_ | 1 564 |
| Resistenza di calcolo acciaio presente $f_{yd} = f_y \times \theta_s / 1.15$ (KN/mq) | | | | | | fyd_ | 391 304 |
| Resistenza di calcolo acciaio di rinforzo $\Delta f_{yd} = \Delta f_y / 1.15$ (KN/mq) | | | | | | Δfyd_ | 391 304 |

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE: DIAGRAMMA DI INTERAZIONE M-N - SEZIONE A
 Punto di verifica FASE I Nd=0 KN- Md=10 KNm - Punto di verifica FASE I+II Nd=50.3 KN- Md=81.29 KNm



Mrd = 95 kNm

Msd/Mrd = 0.86 < 1

VERIFICA A TAGLIO:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

k_ 2.00

$$\rho_1 = A_s / b_w \times d = \text{rapporto d'armatura comunque minore di 0.02}$$

rr1_ 0.0107

$$V_{\min} (\text{N/mm}^2) = 0.035 k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$$

vmin_ 0.61

$$V_{sdu_min} (\text{KN}) = V_{\min} \times b \times d$$

Vsdu_min 114.951

$$V_{rd} = [0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3}] \times (b \times d) / \gamma_c \geq V_{sdu_min}$$

Vrd 234.20

Vsd/Vrd = 0.66 < 1

Azioni e verifiche elementi a sbalzo - dominio di rottura e verifica a taglio

9.18 Verifiche del cordolo (Sezione S₂)

In questa fase si valuta l'adeguatezza delle armature di collegamento cordolo-soletta nei confronti dell'azione di strappo prodotta dall'urto del veicolo in svio.

Nelle seguenti verifiche si prenderanno in conto le armature di progetto dimensionate sulla base della geometria e della caratteristiche meccaniche dei tirafondi della barriera. In particolare si considera un'armatura costituita da 4 bracci verticali Ø12/12.5cm; 2 bracci orizzontali Ø12/12.5cm; 10 barre longitudinali Ø12mm.

Qui di seguito si riportano le verifiche effettuate sui cordoli relativi ad un solo lato della carreggiata in quanto risultano avere una geometria simile o uguale.

AZIONI E VERIFICHE ARMATURE CORDOLO - NTC 2018

Tensione di snervamento armature verticali di progetto (N/mm²) fyp_ 450
 Coefficiente di fattorizzazione delle sollecitazioni d'urto cs_ 1.0
 Coefficiente di sicurezza γ_m gm_ 1.15
 Coefficiente di sicurezza γ_c gc_ 1.00

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|---|----------|---------------------------------|----------|
| Spessore della pavimentazione (m) | p_ 0.10 | Altezza forza d'urto (m) | zu_ 1.00 |
| Spessore del cordolo (m) | c_ 0.17 | | |
| Larghezza del cordolo (m) | bc_ 0.75 | Dim. base, massima pedana (m) | bs_ 0.40 |
| Forza orizzontale prodotta dall'urto (kN) | Hu_ 100 | Larghezza di influenza urto (m) | _bs 0.74 |

Armature verticali nel cordolo resistenti a trazione (mmq/ml):

| φ (mm) | int (cm) | + | φ (mm) | int (cm) | + | φ (mm) | int (cm) |
|--------|----------|---|--------|----------|---|--------|----------|
| 12 | 12.5 | | 12 | 12.5 | | | |

Armature verticali nel cordolo resistenti a trazione (mmq/ml): Asp_ 1809.6

| φ (mm) | int (cm) | + | φ (mm) | int (cm) | + | φ (mm) | int (cm) |
|--------|----------|---|--------|----------|---|--------|----------|
| 12 | 12.5 | | 12 | 12.5 | | | |

Armature resistenti a taglio (mmq/ml): At_ 3619.1

Armature di progetto acciaio f_{y,d} = 450.00 Mpa
 s f12 + s f12

Armature di progetto acciaio f_{y,d} = 450.00 Mpa
 s f12 + s f12

SOLLECITAZIONI E VERIFICHE ARMATURE CORDOLO B=1.0m

Momento flettente (kNm/ml) Md_ 148.65
 Sforzo normale (kN/ml) Nd_ 4.19
 Azione di taglio (kN/ml) Vd_ 135.14

Mrd = 314.3 kNm Msd/Mrd = 0.47 < 1

| VERIFICA A TAGLIO (Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio) | | | |
|--|------------|---------------------------------------|--------------------|
| $k = 1 + (200/d)^{(1/2)}$ | | $k_ =$ | 1.54 |
| $\rho_1 = A_s / bw \times d =$ rapporto d'armatura comunque minore di 0.02 | | $rr1_ =$ | 0.0143 |
| $V_{min} (N/mm^2) = 0.035 k^{(3/2)} \times f_{ck}^{(1/2)}$ | | $vmin_ =$ | 0.41 |
| $V_{sdu_min} (KN) = V_{min} \times b \times d$ | | $V_{sdu_min} =$ | 277.09 |
| $V_{rd} = [0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{(1/3)}] \times (b \times d) / \gamma_c \geq V_{sdu_min}$ | | $V_{rd} =$ | 706.59 |
| | | $V_{sd} / V_{rd} =$ | 0.19 < 1 |
| VERIFICA A TAGLIO E TRAZIONE (armature integrative di progetto) | | | |
| Resistenza di calcolo a trazione (N/mm ²) = (f _{yp} × k / g _m) | $f_{yd} =$ | 450.0 | |
| Tensione tangenziale (N / mm ²) | $\tau =$ | 37.3 | |
| Tensione normale (N / mm ²) | $\sigma =$ | 292.6 | |
| $\sigma_{td} = \text{rad}q (\sigma^2 + 3\tau^2)$ | | 299.66 | < 450.0 |
| VERIFICA SODDISFATTA | | | |

9.19 Verifiche a deformazione

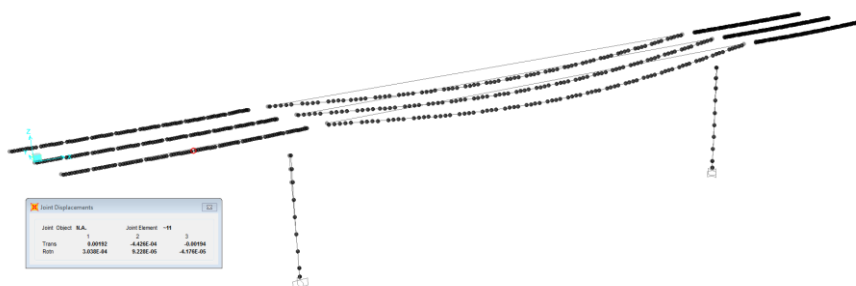
Si riporta di seguito il grafico relativo ai valori di deformazione verticale massima e minima dell'impalcato considerando agenti i soli carichi variabili da traffico e la variazione termica differenziale.

La deformazione verticale massima ammissibile per ciascuna campata è pari ad $1/500$ della grandezza L_0 che si intende pari alla luce della campata, per le travate appoggiate e per le campate esterne di travate continue, mentre si assume pari a 0.7 della luce per le campate interne di travate continue.

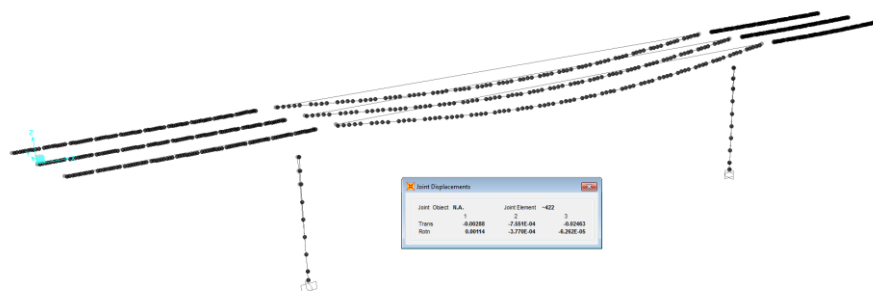
Le verifiche di deformazione si intendono pertanto soddisfatte, risultando verificata la seguente disequaglianza:

$$\delta_{\text{vert,max}} < L_0 / 500$$

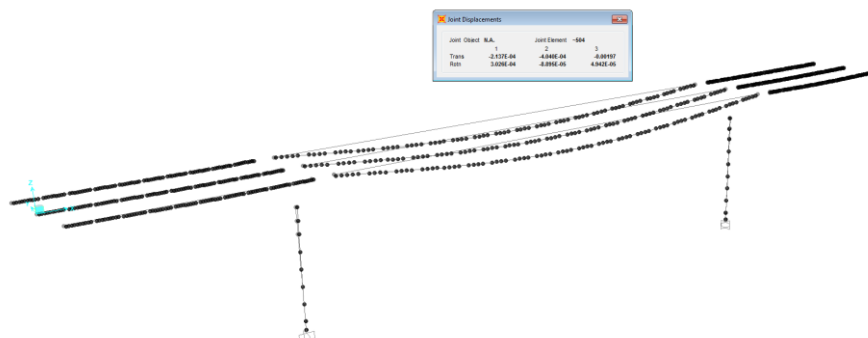
Campata 1 $\delta_{\text{vert,max}} = 1.9 < 12000/500 = 24\text{mm}$



Campata 2 $\delta_{\text{vert,max}} = 24.6 < 32000/500 = 64\text{mm}$

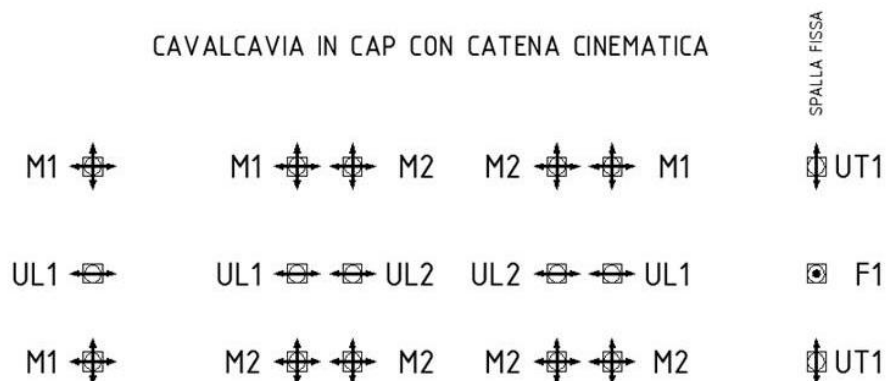


Campata 3 $\delta_{\text{vert,max}} = 3.6 < 12000/500 = 24\text{mm}$



9.20 Azioni sugli apparecchi di appoggio

Lo schema di disposizione degli apparecchi di appoggio del viadotto segue lo schema mostrato nella seguente figura, in cui la spalla fissa è la spalla SB.



Ove:

- F sono gli apparecchi di appoggio di tipo Fisso;
- UL1; UL2 sono gli apparecchi di appoggio di tipo Unidirezionale Longitudinale;
- UT1; UT2 sono gli apparecchi di appoggio di tipo Unidirezionale Trasversale;
- M1; M2 sono gli apparecchi di appoggio di tipo Mobile.

Si riportano di seguito le massime azioni agenti sugli apparecchi di appoggio, nelle combinazioni statiche (S.L.U.) e sismiche (S.L.V.).

| AZIONI SUGLI APPARECCHI D'APPOGGIO | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| Id | Tipo | Q.tà | STATICA | | | SISMICA | | |
| | | | N _{sd} | H _{sd, LONG} | H _{sd, TRASV} | N _{sd} | H _{sd, LONG} | H _{sd, TRASV} |
| [-] | [-] | [-] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] |
| F | Fisso | 1 | 1600 | 300 | 200 | 700 | 1050 | 450 |
| UL1 | Unidir long | 3 | 1700 | 0 | 150 | 750 | 0 | 450 |
| UL2 | Unidir long | 2 | 3150 | 0 | 150 | 1400 | 0 | 600 |
| UT1 | Unidir trasv | 2 | 1600 | 400 | 0 | 700 | 1250 | 0 |
| M1 | Multidir | 6 | 1700 | 0 | 0 | 750 | 0 | 0 |
| M2 | Multidir | 4 | 3150 | 0 | 0 | 1400 | 0 | 0 |

10. VERIFICHE PILA 1

10.1 Verifica Elevazione

Si riportano di seguito le verifiche relative alla pila 1; le verifiche sono state condotte sul fusto della pila, nella sezione di attacco alla fondazione.

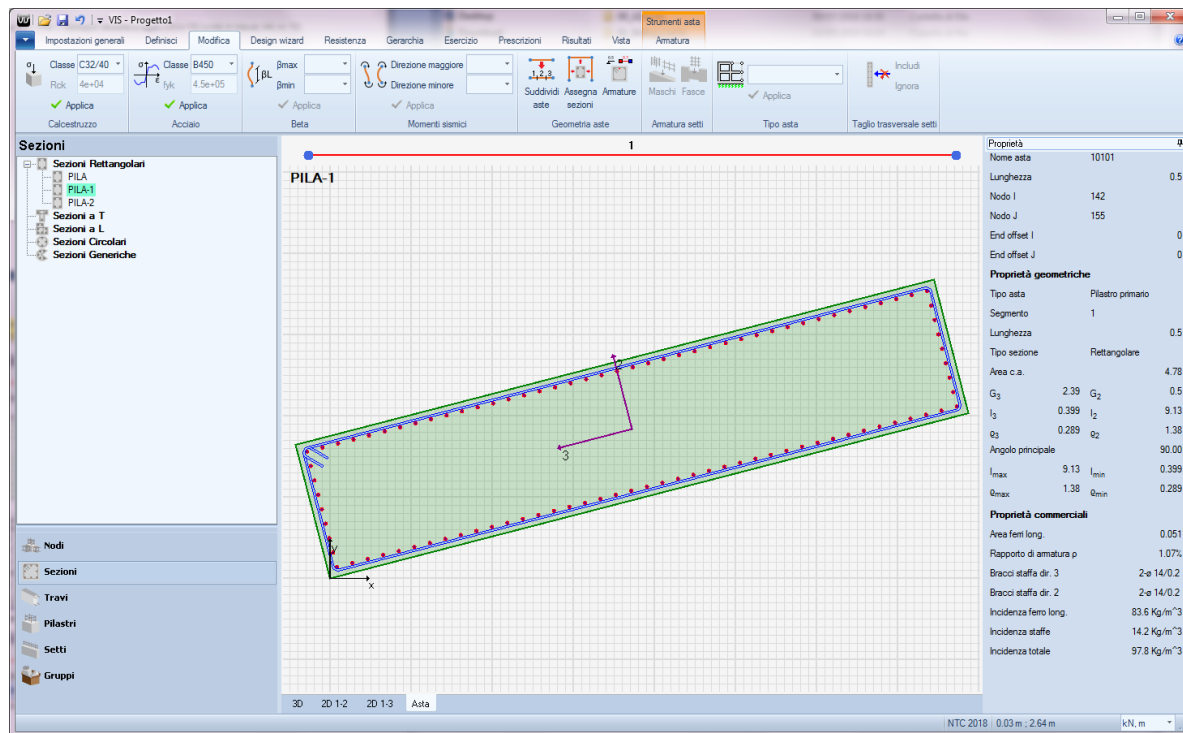


Figura 10-1 – Pila 1: sezione di verifica 7.285 x 1.00 – ϕ 26/10

10.1.1 Verifica SLU-SLV

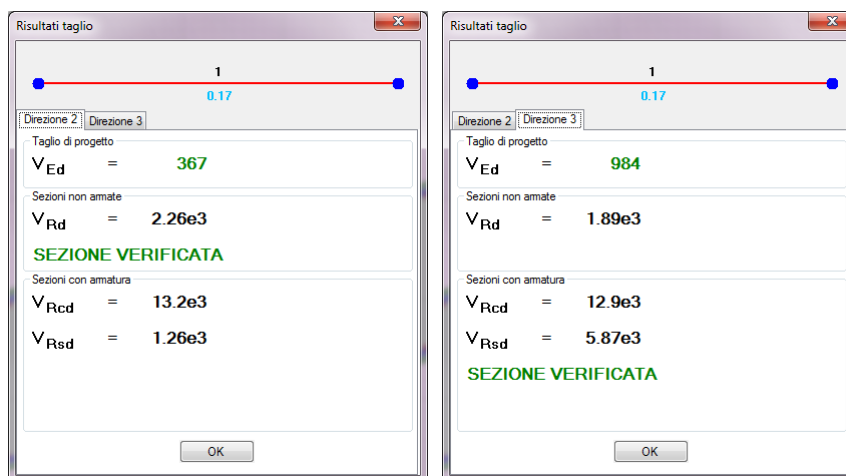


Figura 10-2 – Pila 1: Dettaglio verifiche a taglio (V_2 e V_3) (unità di misura: kN; m; °C)

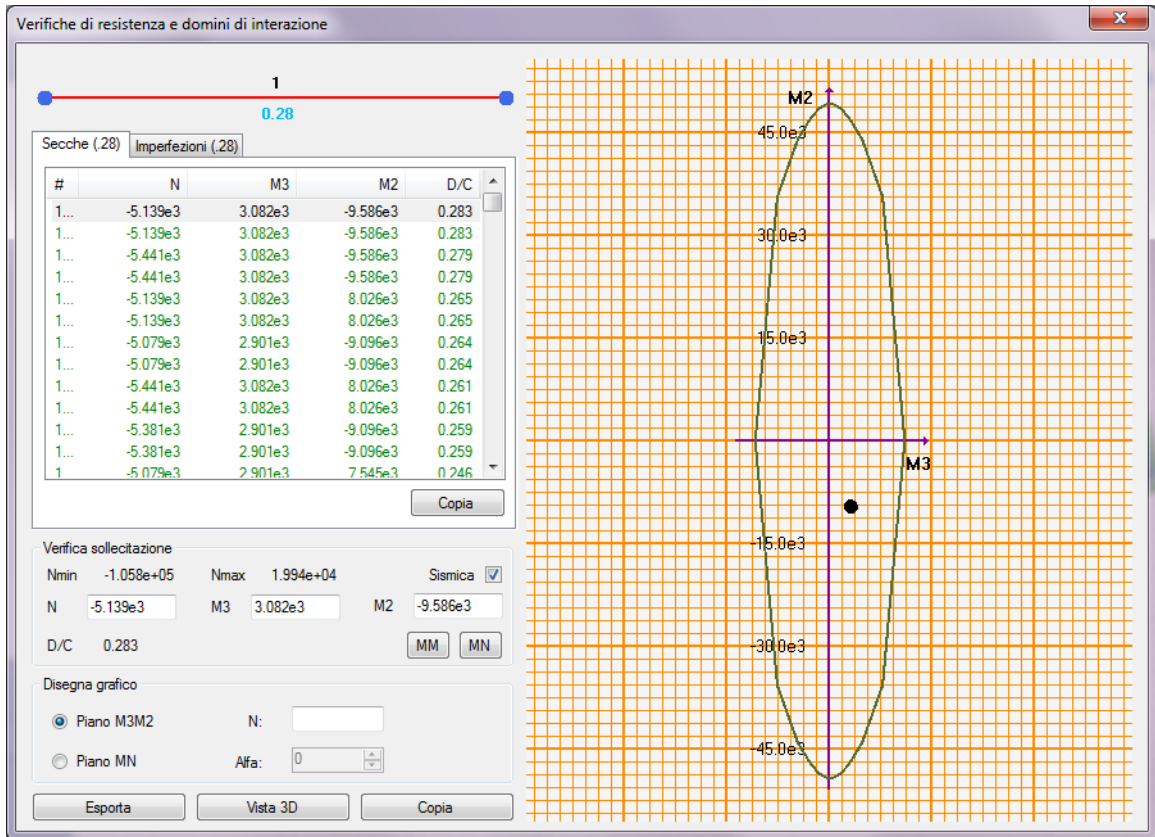


Figura 10-3 – Pila 1: Dettaglio verifica PMM – piano MM (unità di misura: kN; m; °C)

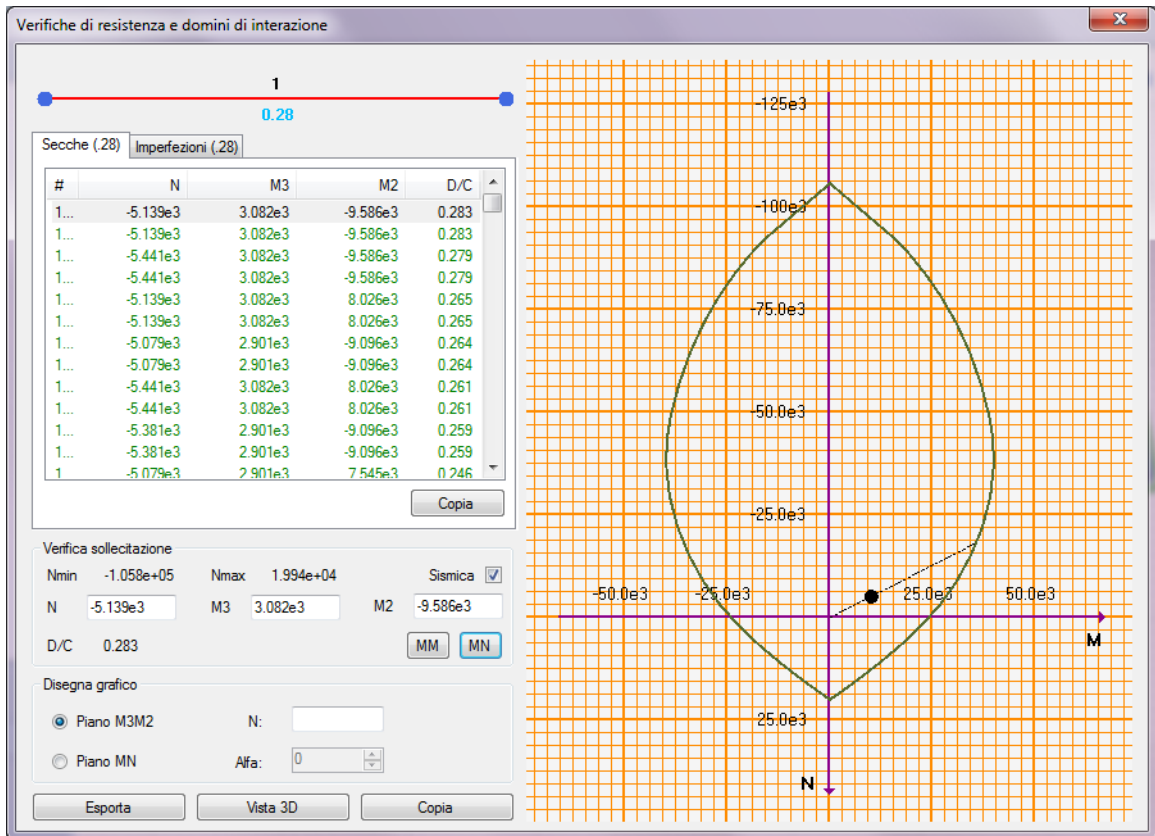


Figura 10-4 – Pila 1: Dettaglio verifica PMM – piano MN (unità di misura: kN; m; °C)

10.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni

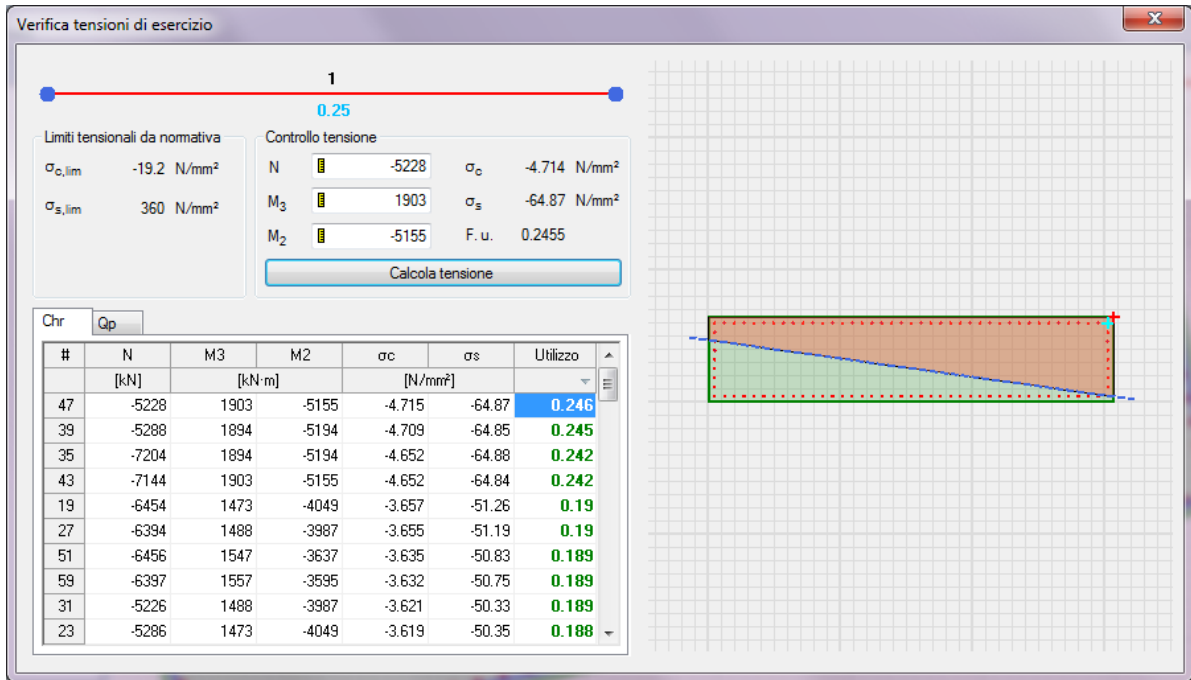


Figura 10-5 – Pila 1: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

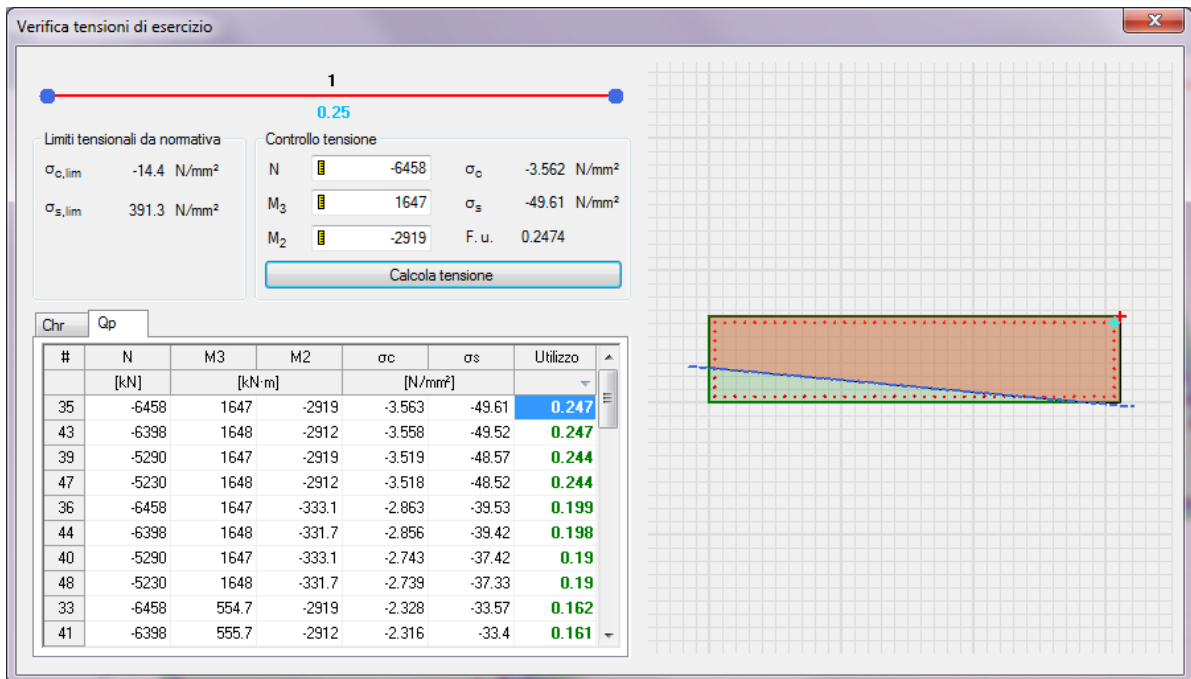


Figura 10-6 – Pila 1: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

10.1.3 Verifica SLE – Fessurazione

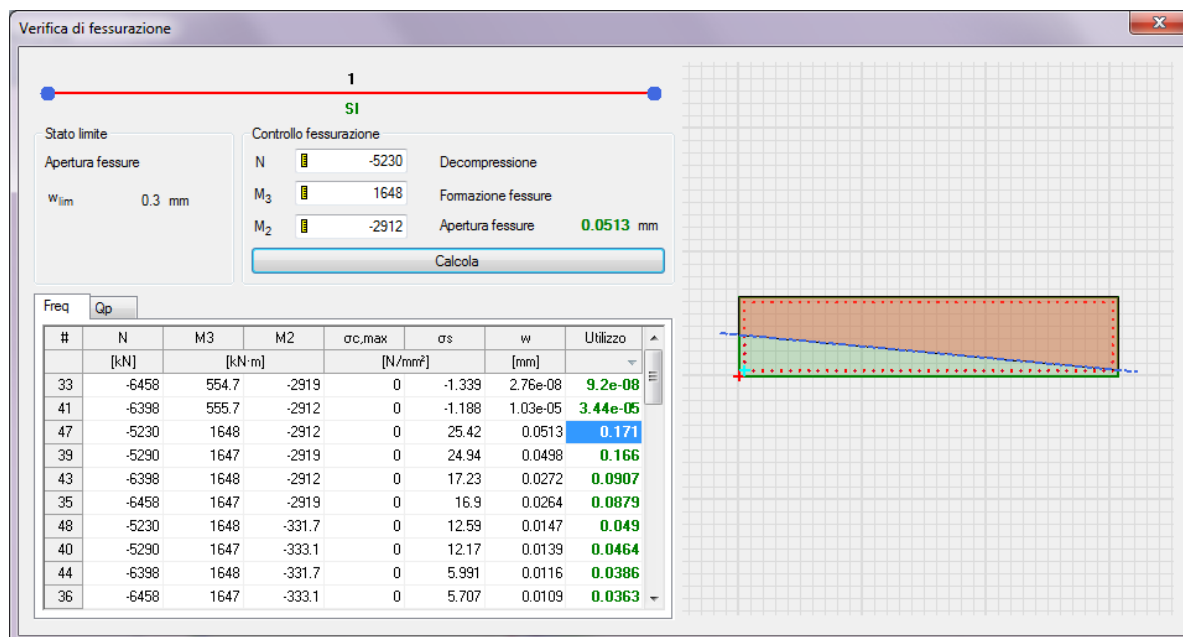


Figura 10-7 – Pila 1: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

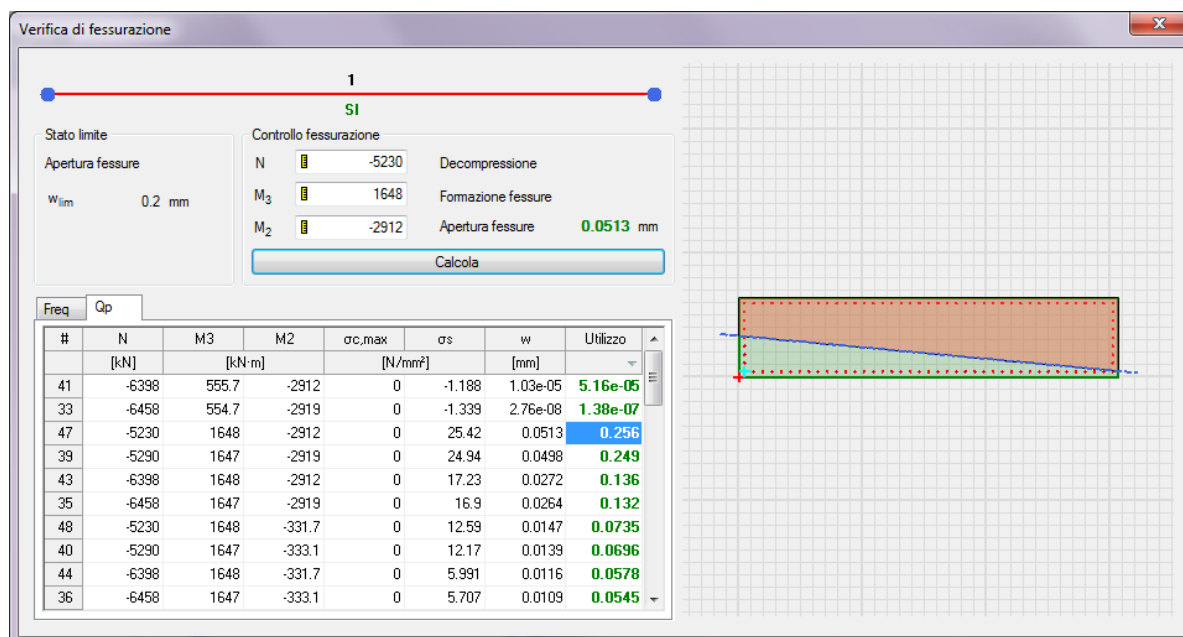


Figura 10-8 – Pila 1: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

10.2 Verifica fondazione

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

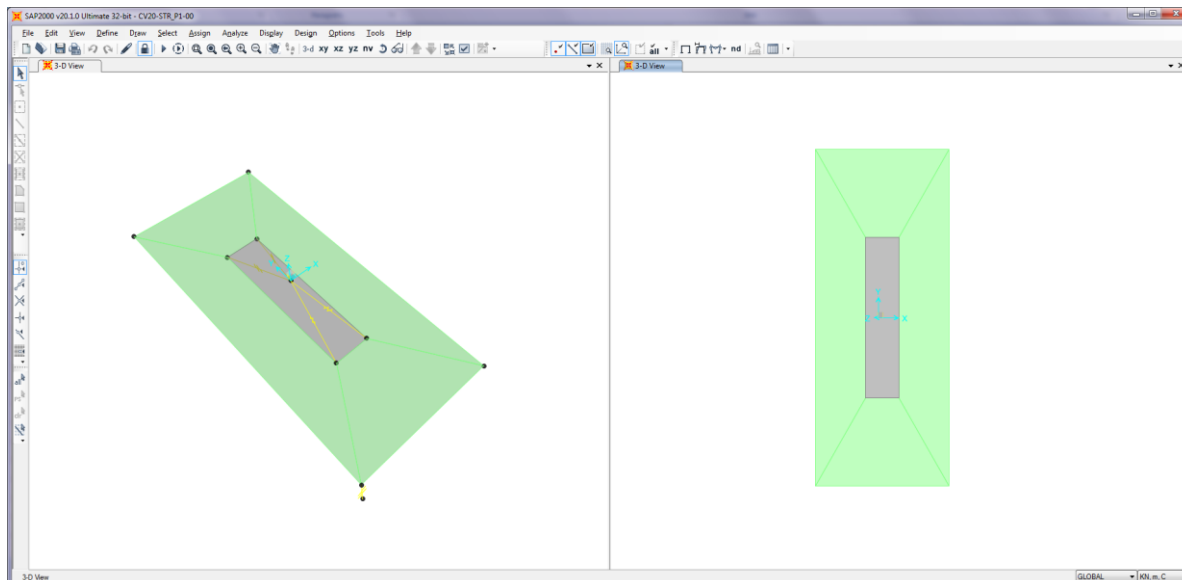


Figura 10-9 – Modello di calcolo

Il modello numerico è realizzato con elementi finiti bidimensionali tipo "shell-thick" ed elementi finiti tipo "link-linear" per il collegamento del nodo di riferimento al resto della struttura. Il nodo di riferimento è utilizzato per assegnare i carichi trasmessi dall'impalcato calcolati attraverso il modello numerico descritto nei paragrafi precedenti.

L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto applicando alla zattera di fondazione delle molle "alla Winkler" assegnate nelle tre direzioni ortogonali.

| AZIONI ALLO SPICCATO / PILE P1: ASTA N.10101 | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|-------|-------|
| ELEMENTO DI VERIFICA NUMERO | | | TIPO SPALLA | | SPALLA | | | | | |
| POSIZIONE (NODO I=1 - NODOJ=2) | | | MOBILE | | P1 | | | | | |
| CARICHI MOBILI | | | M1 | | M2 | | | | | |
| | | | Max | | P1 | | | | | |
| Descrizione | CODTYPE | NRIGA | V2=TI [KN] | M3=MI [KNm] | V3=Tt [KN] | M2=Mtr [KNm] | T=Mt [KNm] | P=N [KN] | F | CC |
| G1-IMPALCATO | 0 | 28 | 0 | 360 | 0 | -93 | 0 | -1347 | 1.000 | 1.000 |
| G1-SOLETTA | 0 | 44 | 0 | 368 | 0 | -95 | 0 | -1378 | 1.000 | 1.000 |
| G1-PILA | 0 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1169 | 1.000 | 1.000 |
| G2-PERMANENTI | 0 | 52 | -1 | 319 | -3 | -541 | 19 | -1396 | 1.000 | 1.000 |
| E1-DISTORSIONI | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| E2-RITIRO | 0 | 12 | -3 | -18 | -11 | -103 | -1 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| E4-CEDIMENTI | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q1-MOBILI-KK | 1 | 194 | 0 | 576 | 1 | -3066 | 6 | -1916 | 1.000 | 1.000 |
| Q1-MOBILI-FQ | 1 | 98 | 0 | 360 | 0 | -1637 | 6 | -1168 | 1.000 | 1.000 |
| Q3-FRENATURA | 0 | 252 | -1 | 4 | -4 | -40 | -5 | -1 | 1.000 | 1.000 |
| Q4-CENTRIFUGA | 0 | 260 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q5-VENTO-C | 0 | 268 | -28 | -174 | -110 | -1130 | -3 | 4 | 1.000 | 1.000 |
| Q7-ATTRITO-P | 0 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_L | 0 | 276 | 99 | 450 | 90 | 848 | 26 | 181 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_T | 0 | 284 | 326 | 1865 | 935 | 8421 | 91 | 45 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_V | 0 | 292 | 27 | 114 | 27 | 267 | 24 | 172 | 1.000 | 1.000 |

| DATI PER CALCOLO FONDAZIONI PILE | |
|--|-----------|
| Accelerazione al suolo (ag) | 0.086 |
| Coefficiente di suolo (S=S ₁ x S ₂) | 1.200 |
| k _h = 5 x b _m a _g /g = coefficiente sismico orizzontale | 0.103 |
| k _v = 0.5 k _h = coefficiente sismico verticale | 0.051 |
| β _m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito | 1.00 |
| T _{RI} = Peso rinterro | 20.00 |
| HR = Altezza rinterro | 1.00 |
| Diametro pali | 0.00 |
| Lunghezza elastica dei pali | 0.00 |
| Scalramento | 0.00 |
| Classe del calcestruzzo pali | 0.00 |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo dei pali | 2.058E+07 |
| Accelerazione dir X ---->> | 1.010 |
| Accelerazione dir Y ---->> | 1.010 |
| Accelerazione dir Z ---->> | 0.505 |
| G1-PESO_FONDAZIONE | 1.000 |
| G1-PESO_RINTERRO | 20.000 |
| Q6-INERZIA_MASSE_L | 1.010 |
| Q6-INERZIA_MASSE_T | 1.010 |
| Q6-INERZIA_MASSE_V | 0.505 |

Figura 10-10 – Tabella assegnazione azioni al modello di calcolo

10.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV

Si riportano di seguito le color map che diagrammano le richieste di armatura calcolate dal programma in funzione dell'involuppo delle sollecitazioni per lo stato limite in oggetto, a cui viene applicato il metodo di Wood - Armer nelle due direzioni ortogonali.

Le richieste di armatura, espresse in mm^2/mm , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

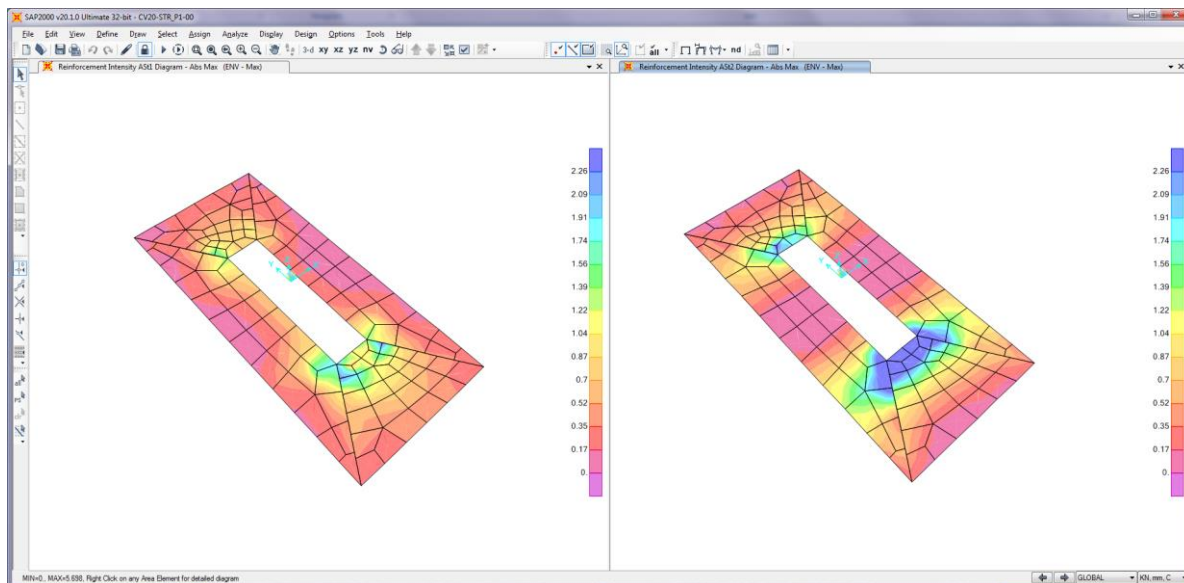


Figura 10-11 – Richiesta di armatura: Ast1_SX e Ast2_DX

Le richieste di armatura massime sono compatibili con le incidenze indicate negli elaborati e riassunte nella tabella sottostante.

| | Ast1 | | | Ast2 | | |
|--------|-------------|--------------|---------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------|
| | passo cm | Φ mm | Area mm^2/mm | passo cm | Φ mm | Area mm^2/mm |
| PLATEA | 20 | 24 | 2.26 | 20 | 24 | 2.26 |

10.2.2 Verifica a ribaltamento

Di seguito si riporta la verifica al ribaltamento della pila, valutato nella direzione longitudinale e trasversale dell'impalcato, considerando il cinematismo di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

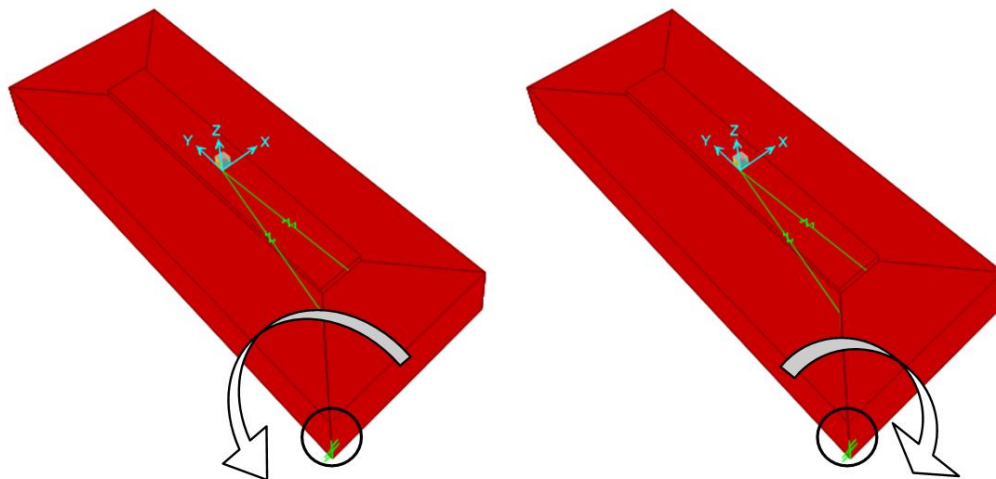


Figura 10-12 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

Le verifiche, in accordo al paragrafo 6.5.3.1 delle NTC18, sono condotte considerando l'Approccio di tipo 2, con la combinazione (A1+M1+R3), dove si pone $R3 = 1.15$ per le condizioni SLU e $R3 = 1$ per le condizioni SLV.

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLU sono:

VER_RIB_C in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte carico;

VER_RIB_S in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte scarico;

TABLE: Combination Definitions

| ComboName | ComboType | AutoDesign | CaseType | CaseName | ScaleFactor |
|-----------|------------|------------|----------------|----------|-------------|
| Text | Text | Yes/No | Text | Text | Unitless |
| VER_RIB_C | Linear Add | No | Response Combo | EQU_1 | 1.15 |
| VER_RIB_C | | | Response Combo | EQU_3 | 1 |
| VER_RIB_S | Linear Add | No | Response Combo | EQU_2 | 1.15 |
| VER_RIB_S | | | Response Combo | EQU_3 | 1 |

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLV sono descritte nel paragrafo relativo alle combinazioni di carico.

Per la convenzione dei segni utilizzata, le verifiche si intendono soddisfatte quando il segno della reazione vincolare del momento intorno all'asse di ribaltamento risulta:

- positivo nella direzione longitudinale ($M1 > 0$);
- negativo nella direzione trasversale ($M2 < 0$);

Si riportano i risultati ottenuti.

| TABLE: Joint Reactions | | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|-----|------|------|-------|--------|-------|
| Joint | OutputCase | CaseType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 1 | SLU_SL1 | Combination | 405 | 451 | 7483 | 32592 | -12485 | -1042 |
| 1 | SLU_SL2 | Combination | 389 | 435 | 7321 | 31961 | -12249 | -1008 |
| 1 | SLU_ST1 | Combination | 426 | 1179 | 7387 | 26024 | -11197 | 354 |
| 1 | SLU_ST2 | Combination | 410 | 1163 | 7225 | 25393 | -10960 | 387 |
| 1 | SLU_V1 | Combination | 217 | 407 | 7545 | 33363 | -12988 | -192 |
| 1 | SLU_V2 | Combination | 163 | 353 | 7004 | 31260 | -12199 | -81 |
| 1 | VER_RIB_C | Combination | 52 | 199 | 8844 | 35557 | -15299 | 176 |
| 1 | VER_RIB_S | Combination | 50 | 191 | 6493 | 29603 | -11680 | 155 |

i risultati ottenuti, evidenziati in giallo, soddisfano tutti tale condizione.

Sono state lette le varie combinazioni rispetto all'asse di ribaltamento.

In particolare le combinazioni di tipo ribaltante sono state incrementate x 1.15 (paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC18, in osservanza alla Tab. 6.5.I) mentre quelle stabilizzanti sono state assunte unitarie. Il risultato della verifica mostra ulteriori riserve di sicurezza rispetto alle minime imposte.

11. VERIFICHE PILA 2

11.1 Verifica Elevazione

11.1.1 Verifica SLU-SLV

Si riportano di seguito le verifiche relative alla pila 2; le verifiche sono state condotte sul fusto della pila, nella sezione di attacco alla fondazione.

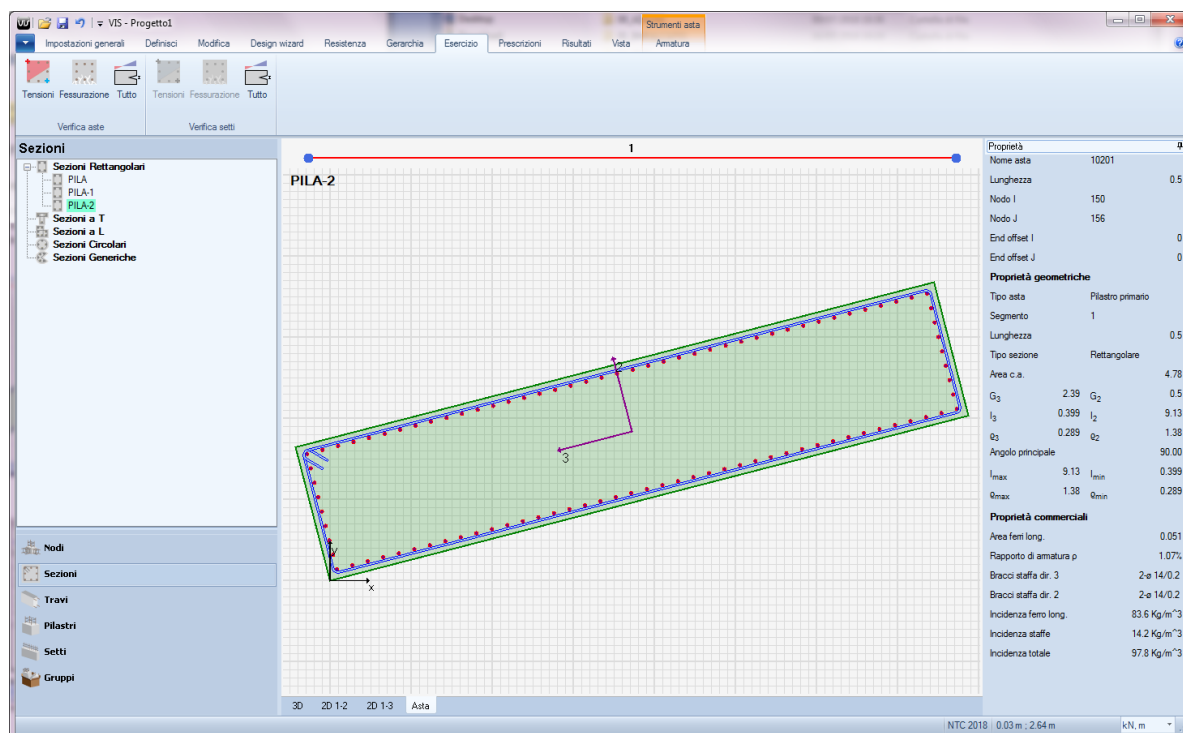


Figura 11-1 – Pila 2: sezione di verifica 7.285 x 1.00 – $\phi 26/10$

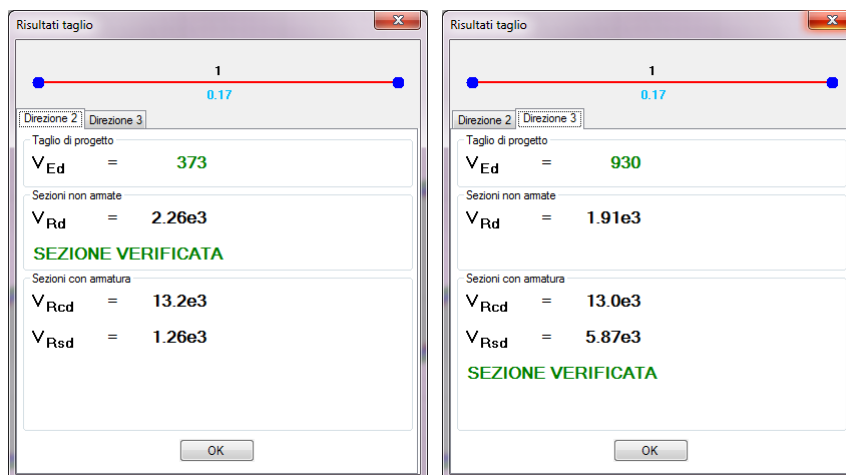


Figura 11-2 – Pila 1: Dettaglio verifiche a taglio (V_2 e V_3) (unità di misura: kN; m; °C)

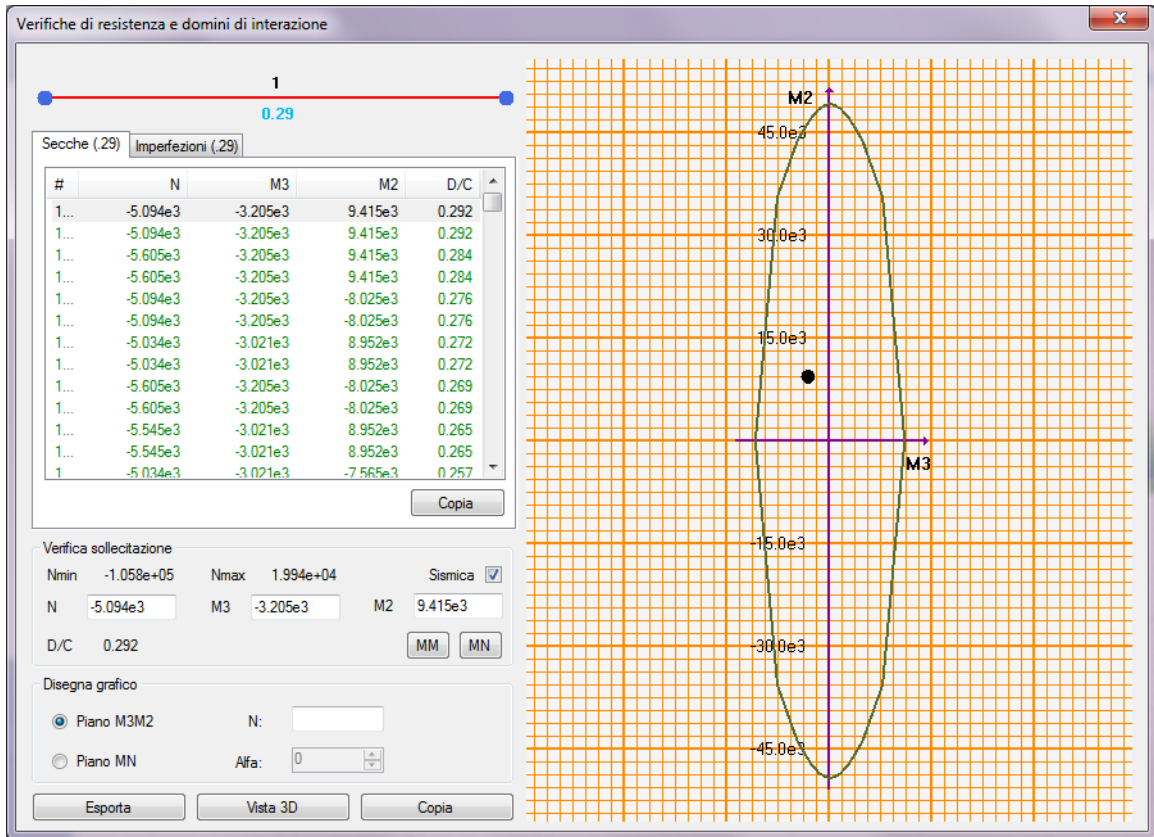


Figura 11-3 – Pila 2: Dettaglio verifica PMM – piano MM (unità di misura: kN; m; °C)

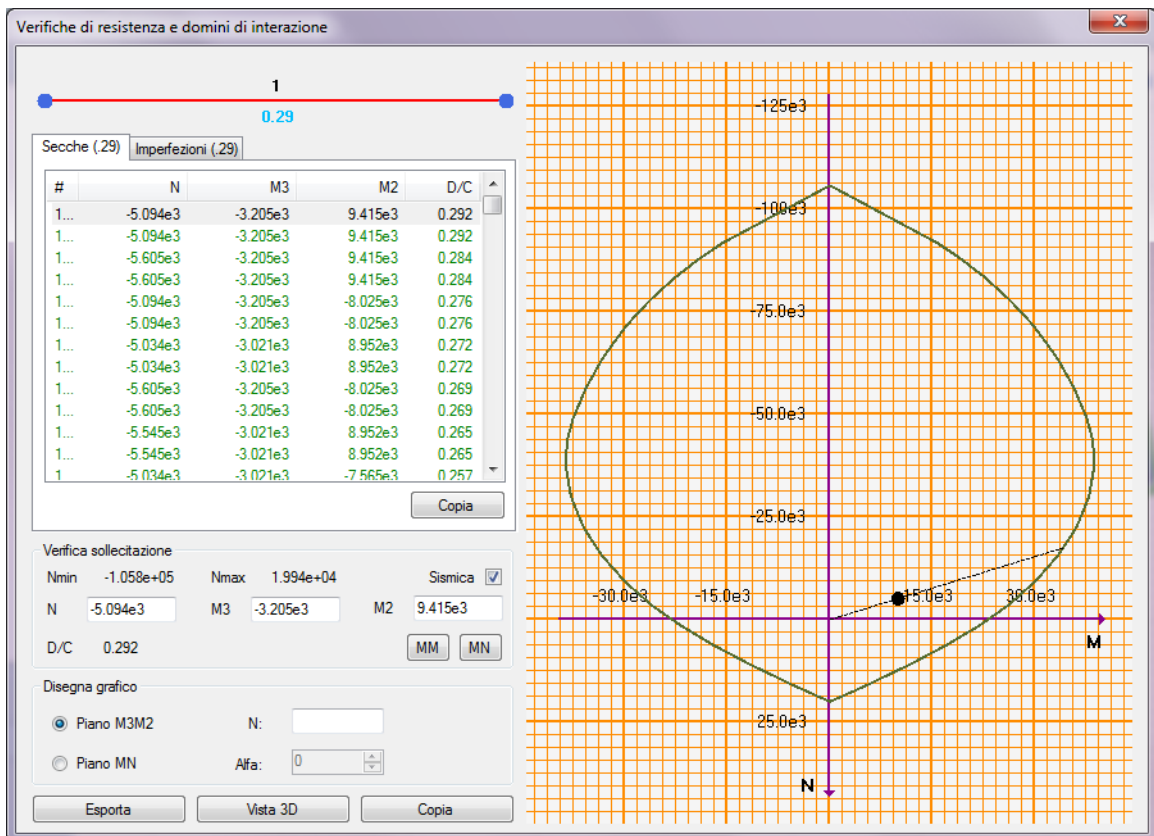


Figura 11-4 – Pila 2: Dettaglio verifica PMM – piano MN (unità di misura: kN; m; °C)

11.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni

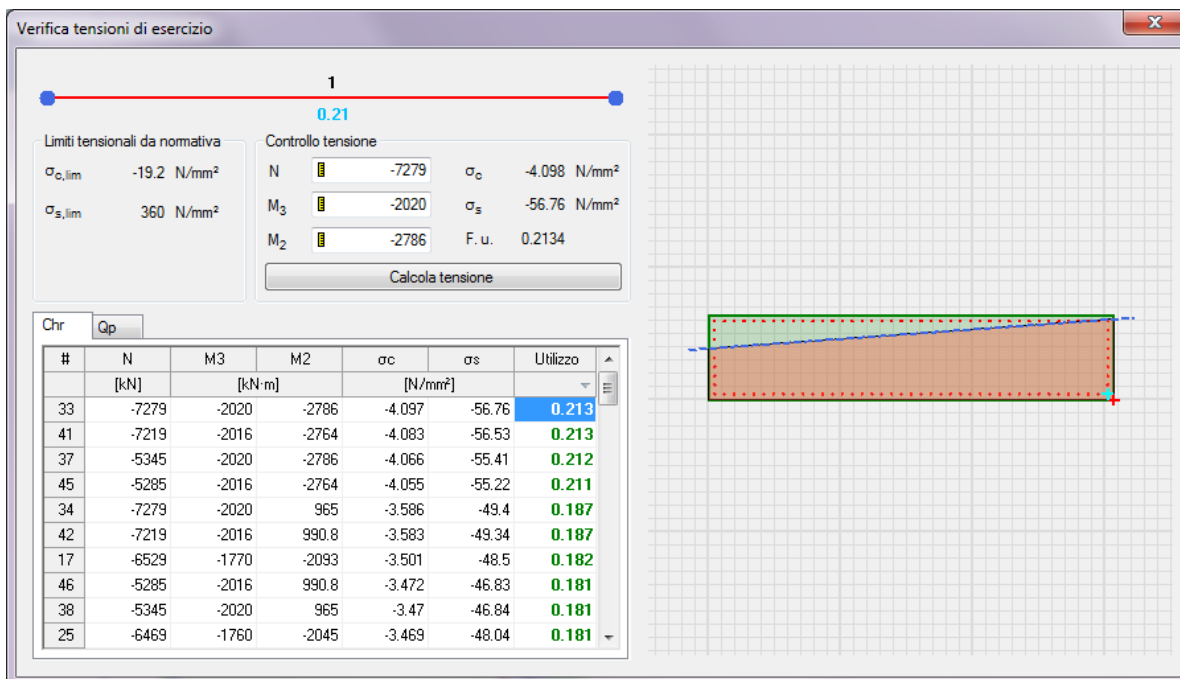


Figura 11-5 – Pila 2: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

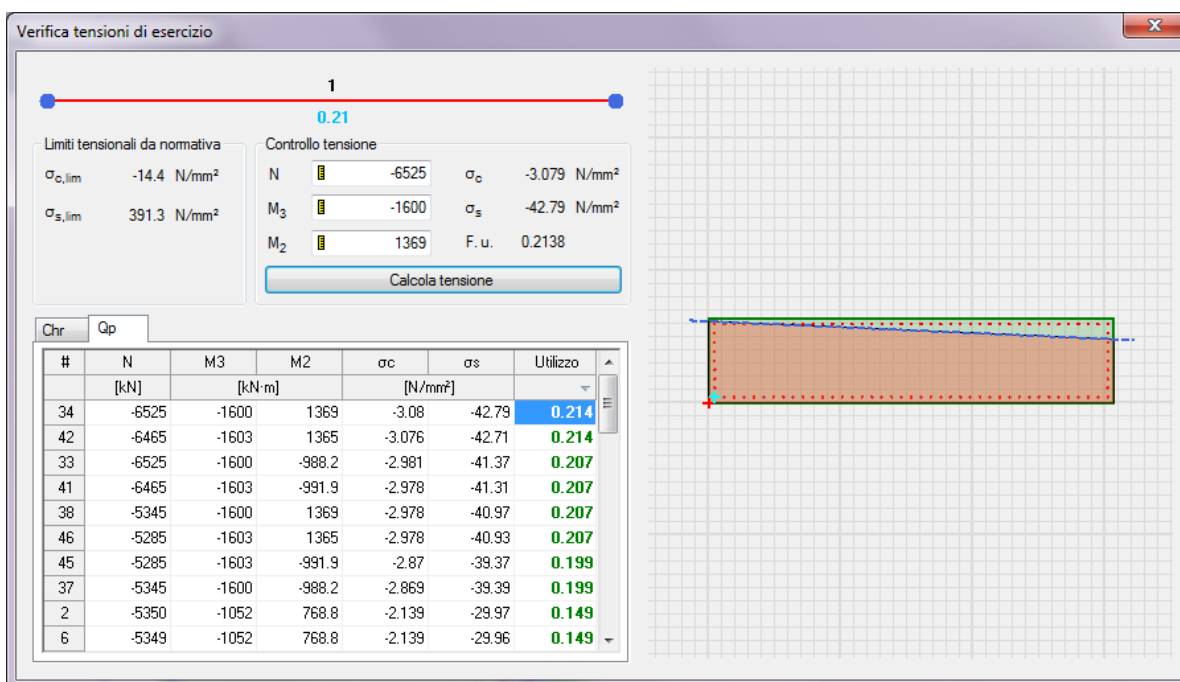


Figura 11-6 – Pila 2: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

11.1.3 Verifica SLE – Fessurazione

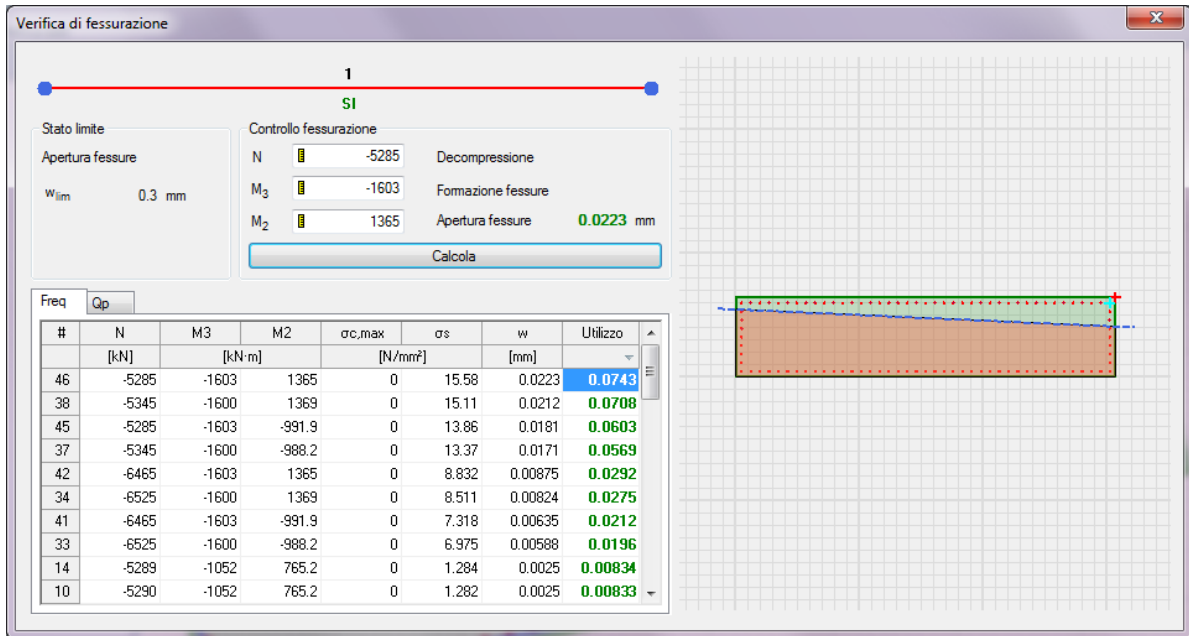


Figura 11-7 – Pila 2: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

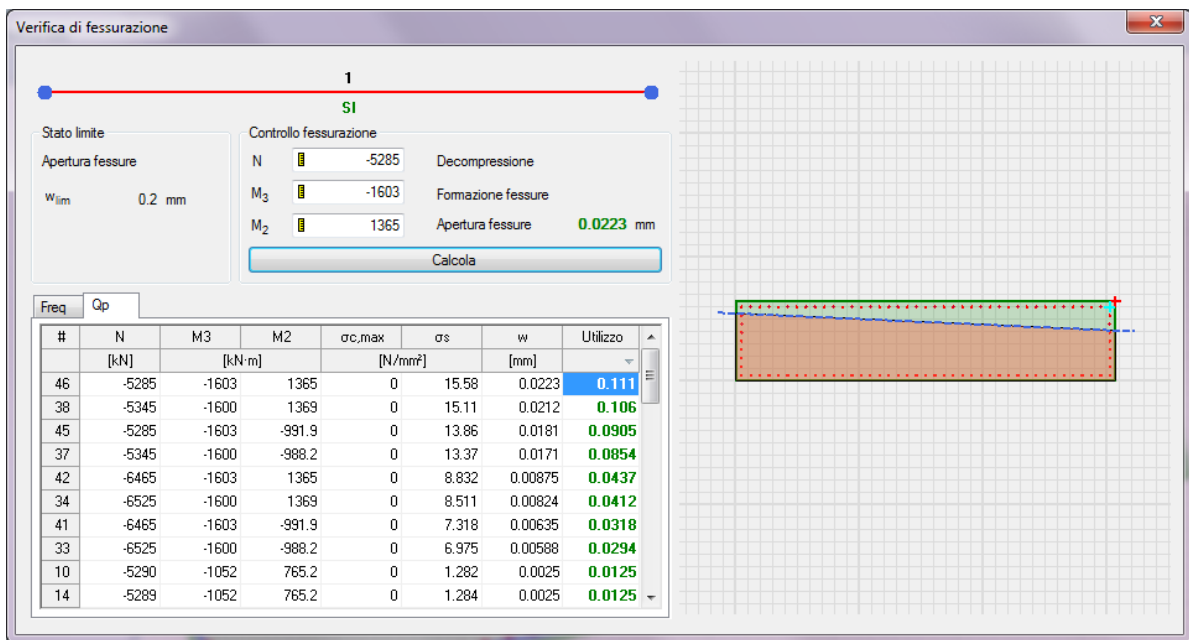


Figura 11-8 – Pila 2: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

11.2 Verifica fondazione

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

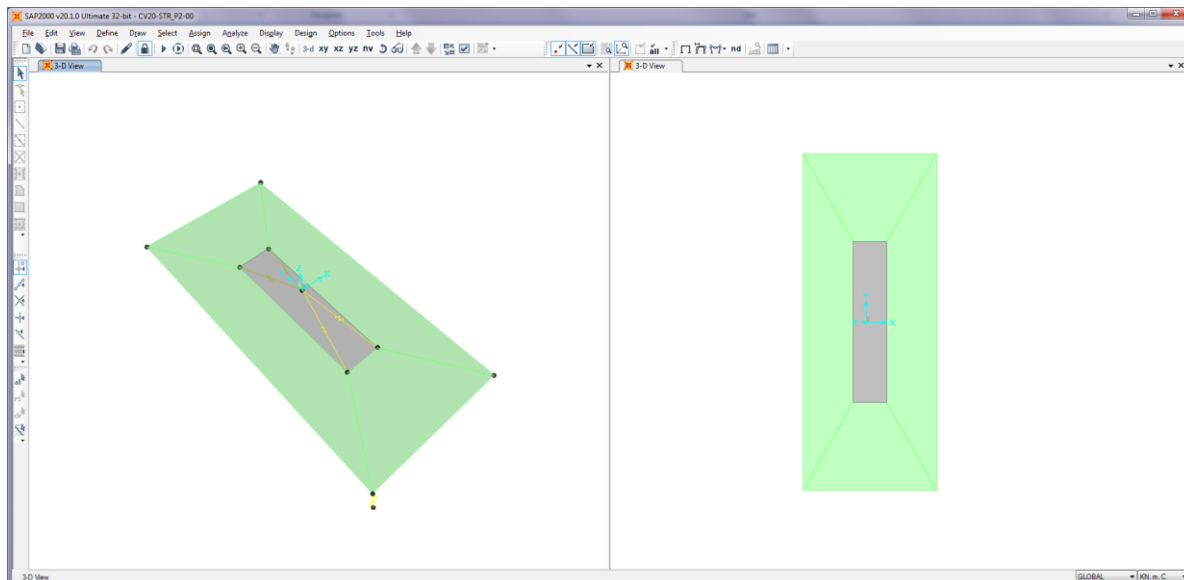


Figura 11-9 – Modello di calcolo

Il modello numerico è realizzato con elementi finiti bidimensionali tipo "shell-thick" ed elementi finiti tipo "link-linear" per il collegamento del nodo di riferimento al resto della struttura. Il nodo di riferimento è utilizzato per assegnare i carichi trasmessi dall'impalcato calcolati attraverso il modello numerico descritto nei paragrafi precedenti.

L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto applicando alla zattera di fondazione delle molle "alla Winkler" assegnate nelle tre direzioni ortogonali.

| AZIONI ALLO SPICCATO / PILE P2: ASTA N.10201 | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|-------|-------|
| ELEMENTO DI VERIFICA NUMERO | | | 10201 | | TIPO SPALLA | | SPALLA | | | |
| POSIZIONE (NODO I=1 - NODO J=2) | | | 1 | | MOBILE | | P2 | | | |
| CARCHI MOBILI | | | Min | | M2 | | P1 | | | |
| | | | Max | | P2 | | P2 | | | |
| Descrizione | CODTYPE | NRIGA | V2=Ti [KN] | M3=Ml [KNm] | V3=Tt [KN] | M2=Mtr [KNm] | T=Mt [KNm] | P=N [KN] | F | CC |
| G1-IMPALCATO | 0 | 30 | 0 | -360 | 0 | 93 | 0 | -1347 | 1.000 | 1.000 |
| G1-SOLETTA | 0 | 46 | 0 | -368 | 0 | 95 | 0 | -1378 | 1.000 | 1.000 |
| G1-PILA | 0 | 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1229 | 1.000 | 1.000 |
| G2-PERMANENTI | 0 | 54 | 2 | -310 | 7 | 581 | -38 | -1396 | 1.000 | 1.000 |
| E1-DISTORSIONI | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| E2-RITIRO | 0 | 14 | -2 | -14 | -8 | -147 | 4 | 1 | 1.000 | 1.000 |
| E4-CEDIMENTI | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q1-MOBILI-KK | 1 | 218 | 7 | -144 | 26 | -1937 | 26 | -1926 | 1.000 | 1.000 |
| Q1-MOBILI-FQ | 1 | 122 | 4 | -56 | 14 | -1052 | 0 | -1175 | 1.000 | 1.000 |
| Q3-FRENTATURA | 0 | 254 | 2 | -10 | 6 | 70 | -4 | 67 | 1.000 | 1.000 |
| Q4-CENTRIFUGA | 0 | 262 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q5-VENTO-C | 0 | 270 | -27 | -170 | -103 | -1105 | 4 | -4 | 1.000 | 1.000 |
| Q7-ATTRITO-P | 0 | 302 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_L | 0 | 278 | 109 | 506 | 132 | 1268 | 28 | 546 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_T | 0 | 286 | 332 | 1975 | 876 | 8190 | 77 | 41 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_V | 0 | 294 | 20 | 90 | 24 | 253 | 24 | 168 | 1.000 | 1.000 |

| DATI PER CALCOLO FONDAZIONI PILE | |
|--|-----------|
| Accelerazione al suolo (ag) | 0.086 |
| Coefficiente di suolo (S=S ₁ x S ₂) | 1.200 |
| k _h = 5 x b _m a _g /g = coefficiente sismico orizzontale | 0.103 |
| k _v = 0.5 k _h = coefficiente sismico verticale | 0.051 |
| β _m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito | 1.00 |
| T _{RI} = Peso rinterro | 20.00 |
| HR = Altezza rinterro | 1.00 |
| Diametro pali | 0.00 |
| Lunghezza elastica dei pali | 0.00 |
| Scalramento | 0.00 |
| Classe del calcestruzzo pali | 0.00 |
| Modulo di elasticità del calcestruzzo dei pali | 2.058E+07 |
| Accelerazione dir X ----->> | 1.010 |
| Accelerazione dir Y ----->> | 1.010 |
| Accelerazione dir Z ----->> | 0.505 |
| G1-PESO_FONDAZIONE | 1.000 |
| G1-PESO_RINTERRO | 20.000 |
| Q6-INERZIA_MASSE_L | 1.010 |
| Q6-INERZIA_MASSE_T | 1.010 |
| Q6-INERZIA_MASSE_V | 0.505 |

Figura 11-10 – Tabella assegnazione azioni al modello di calcolo

11.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV

Si riportano di seguito le color map che diagrammano le richieste di armatura calcolate dal programma in funzione dell'involuppo delle sollecitazioni per lo stato limite in oggetto, a cui viene applicato il metodo di Wood - Armer nelle due direzioni ortogonali.

Le richieste di armatura, espresse in mm^2/mm , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

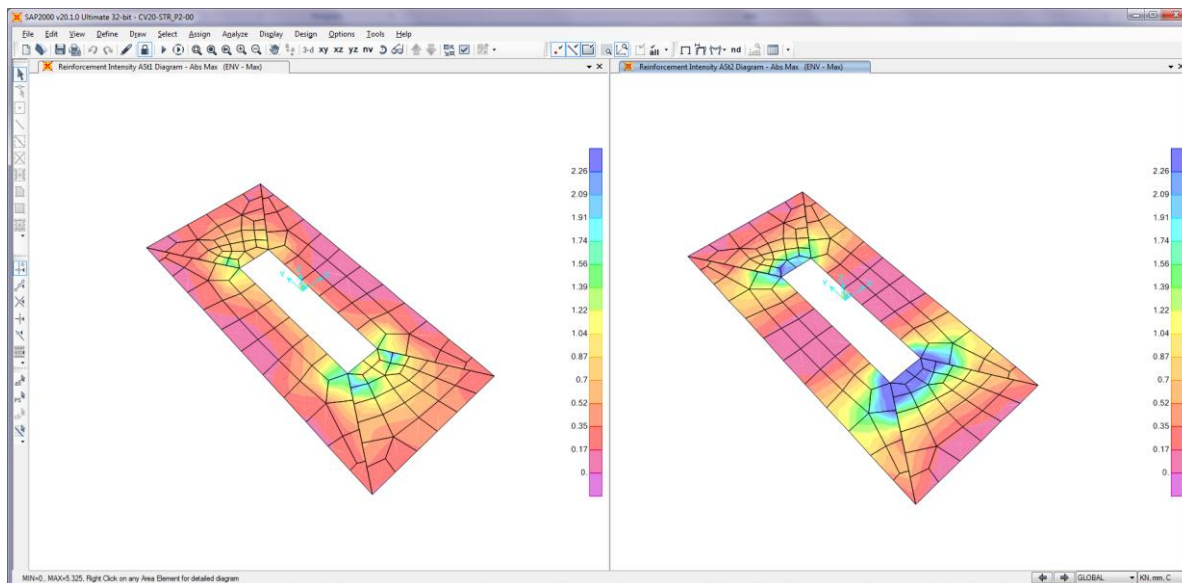


Figura 11-11 – Richiesta di armatura: Ast1_SX e Ast2_DX

Le richieste di armatura massime sono compatibili con le incidenze indicate negli elaborati e riassunte nella tabella sottostante.

| | Ast1 | | | Ast2 | | |
|--------|-------------|--------------|---------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------|
| | passo cm | Φ mm | Area mm^2/mm | passo cm | Φ mm | Area mm^2/mm |
| PLATEA | 20 | 24 | 2.26 | 20 | 24 | 2.26 |

11.2.2 Verifica a ribaltamento

Di seguito si riporta la verifica al ribaltamento della pila, valutato nella direzione longitudinale e trasversale dell'impalcato, considerando il cinematismo di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

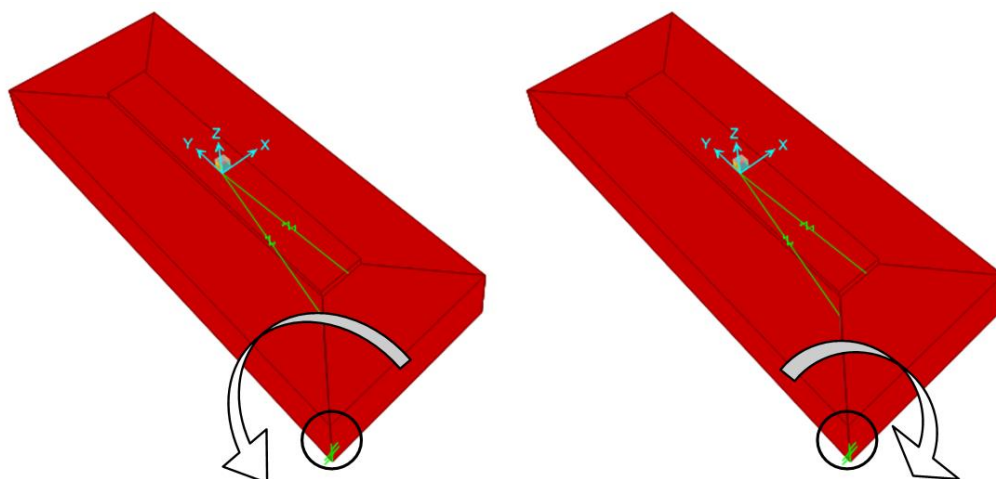


Figura 11-12 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

Le verifiche, in accordo al paragrafo 6.5.3.1 delle NTC18, sono condotte considerando l'Approccio di tipo 2, con la combinazione (A1+M1+R3), dove si pone $R3 = 1.15$ per le condizioni SLU e $R3 = 1$ per le condizioni SLV.

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLU sono:

VER_RIB_C in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte carico;

VER_RIB_S in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte scarico;

TABLE: Combination Definitions

| ComboName | ComboType | AutoDesign | CaseType | CaseName | ScaleFactor |
|-----------|------------|------------|----------------|----------|-------------|
| Text | Text | Yes/No | Text | Text | Unitless |
| VER_RIB_C | Linear Add | No | Response Combo | EQU_1 | 1.15 |
| VER_RIB_C | | | Response Combo | EQU_3 | 1 |
| VER_RIB_S | Linear Add | No | Response Combo | EQU_2 | 1.15 |
| VER_RIB_S | | | Response Combo | EQU_3 | 1 |

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLV sono descritte nel paragrafo relativo alle combinazioni di carico.

Per la convenzione dei segni utilizzata, le verifiche si intendono soddisfatte quando il segno della reazione vincolare del momento intorno all'asse di ribaltamento risulta:

- positivo nella direzione longitudinale ($M1 > 0$);
- negativo nella direzione trasversale ($M2 < 0$);

Si riportano i risultati ottenuti.

| TABLE: Joint Reactions | | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|-----|------|------|-------|--------|-------|
| Joint | OutputCase | CaseType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 1 | SLU_SL1 | Combination | 415 | 476 | 7906 | 34246 | -13252 | -1022 |
| 1 | SLU_SL2 | Combination | 403 | 462 | 7746 | 33616 | -13001 | -1005 |
| 1 | SLU_ST1 | Combination | 434 | 1134 | 7552 | 26926 | -11411 | 232 |
| 1 | SLU_ST2 | Combination | 422 | 1119 | 7393 | 26297 | -11160 | 249 |
| 1 | SLU_V1 | Combination | 215 | 400 | 7710 | 34067 | -13308 | -181 |
| 1 | SLU_V2 | Combination | 175 | 352 | 7177 | 31970 | -12471 | -122 |
| 1 | VER_RIB_C | Combination | 57 | 219 | 9029 | 37880 | -16072 | 323 |
| 1 | VER_RIB_S | Combination | 47 | 183 | 6546 | 29889 | -11806 | 169 |

i risultati ottenuti, evidenziati in giallo, soddisfano tutti tale condizione.

Sono state lette le varie combinazioni rispetto all'asse di ribaltamento.

In particolare le combinazioni di tipo ribaltante sono state incrementate x 1.15 (paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC18, in osservanza alla Tab. 6.5.I) mentre quelle stabilizzanti sono state assunte unitarie. Il risultato della verifica mostra ulteriori riserve di sicurezza rispetto alle minime imposte.

12. VERIFICA DELLE SPALLE

12.1 Modello di calcolo

Per le strutture della spalla è stato definito un modello numerico rappresentativo con il programma di calcolo agli elementi finiti "Sap2000" della Computer and Structures Inc.

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

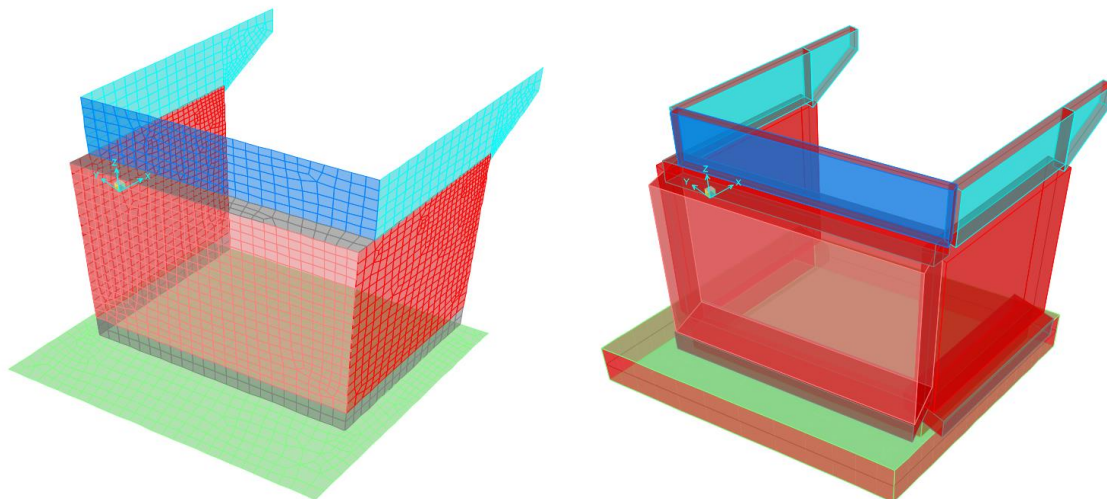


Figura 12-1 – Modello di calcolo

Il modello numerico è realizzato con elementi finiti bidimensionali tipo "shell-thick" ed elementi finiti tipo "link-linear" per il collegamento del nodo di riferimento al resto della struttura. Il nodo di riferimento è utilizzato per assegnare i carichi trasmessi dall'impalcato calcolati attraverso il modello numerico descritto nei paragrafi precedenti.

Le azioni agenti direttamente sulla spalla sono assegnate come carichi uniformi applicati agli elementi "shell" e come carichi nodali attraverso leggi di variazione lineare "joint pattern", tali carichi sono assegnati unitari e vengono poi resi congruenti con i valori di progetto attraverso dei moltiplicatori che agiscono nei casi di analisi "load case".

L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto applicando alla zattera di fondazione delle molle "alla Winkler" assegnate nelle tre direzioni ortogonali.

L'azione sismica del terreno è stata calcolata con la formulazione di Mononobe-Okabe.

Si riportano di seguito le azioni assegnate al modello numerico, a tali azioni viene assegnato il segno che ne massimizza gli effetti.

ELEMENTO DI VERIFICA NUMERO
 POSIZIONE (NODO I=1 - NODO J=2)
 CARICHI MOBILI

| 10301 2 | TIPO SPALLA | | SPALLA | | V2-Tl [KN] | M2-Mtr [kNm] | T-Mt [KNm] | P-N [KN] | F | CC |
|----------------|-------------|-------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------|
| | FISSA | SP2 | | | | | | | | |
| | V2 | M2 | V2-Tl | M2-Mtr | | | | | | |
| | Max | Sp2 | | | | | | | | |
| Descrizione | CODTYPE | NRIGA | V2-Tl [KN] | M2-Mtr [kNm] | V2-Tl [KN] | M2-Mtr [kNm] | T-Mt [KNm] | P-N [KN] | F | CC |
| G1-IMPALCATO | 0 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -364 | 1.000 | 1.000 |
| G1-SOLETTA | 0 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -372 | 1.000 | 1.000 |
| G2-PERMANENTI | 0 | 49 | 0 | -16 | -6 | 58 | 70 | -418 | 1.000 | 1.000 |
| E1-DISTORSIONI | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| E2-RITIRO | 0 | 17 | 0 | -25 | 20 | 106 | -625 | -1 | 1.000 | 1.000 |
| E4-CEDIMENTI | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q1-MOBILI-KK | 1 | 235 | 0 | 399 | 1 | -1545 | -15 | -1180 | 1.000 | 1.000 |
| Q1-MOBILI-FQ | 1 | 139 | 0 | 263 | 2 | -1017 | -28 | -816 | 1.000 | 1.000 |
| Q3-FRENATURA | 0 | 249 | -511 | -258 | 4 | 10 | 2 | 68 | -1.000 | 1.000 |
| Q4-CENTRIFUGA | 0 | 257 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q5-VENTO-C | 0 | 265 | 0 | 45 | -83 | -216 | 102 | 8 | 1.000 | 1.000 |
| Q7-ATTRITO-P | 0 | 297 | -126 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_L | 0 | 273 | -2990 | -1487 | -35 | -96 | -97 | -360 | -1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_T | 0 | 281 | 111 | 257 | 392 | 1066 | 1221 | 51 | 1.000 | 1.000 |
| Q6-SISMA_V | 0 | 289 | -116 | -59 | -17 | -48 | -8 | -109 | -1.000 | 1.000 |

DATI PER CALCOLO SPALLE

| | | | | |
|--|-------|----------------------------|-------|----------|
| Accelerazione al suolo | 0,087 | verso Kv | 1 | 1,000 |
| Coefficiente di suolo (S=S ₁ , x S ₂) | 1,500 | θ = arctg(Kh)/(1±Kv) | | 0,122 |
| k _h = S × b _h , a _h /g = coefficiente sismico orizzontale | 0,131 | δ = angolo attr.terra-muro | 0,0 | 0,000 |
| k _v = 0,5 k _h = coefficiente sismico verticale | 0,065 | ψ = angolo parete | 90,0 | 1,571 |
| β _h = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito | 1 | β = angolo terreno | 0,0 | 0,000 |
| Spinta su tutta l'altezza (1=si; 0=no) | 1 | φ = angolo attrito | 35,0 | 0,611 |
| Metodo spinta sismica (M=Mononobe;W=Wood) | M | K _{Mon} | | 0,343 |
| K0 (coefficiente di spinta in quiete) | 0,426 | K _{tot} (1±Kv) | | 0,364 |
| Ka (coefficiente di spinta attiva) | 0,271 | Y _{sp} | 18 | 18 |
| Q (variabile a tergo della spalla) KN/mq | 20 | Y _{rint} | 18 | 18 |
| Spalla passante con speroni (1=si; 0=no) | 0 | K _{Wood} | | 0,131 |
| Spinte statiche ortogonali muri o dir L (1=orto; 0=Long.) | 1 | α | 14,5 | 0,3 |
| Rapporto fra lunghezza e spessore muro | 4,99 | FR | 240,0 | 240,0 |
| Rapporto fra lunghezza e spessore paraghiaia | 23,09 | HR | | 10,00 |
| Dimensione longitudinale del rinterro ai fini del calcolo dell'inerzia sismica | 9,37 | | | 1,00 |
| Dimensione trasversale del rinterro ai fini del calcolo della inerzia sismica | 8,96 | | | 5,00 |
| Rapporto dimensione trasversale / dimensione longitudinale della fondazione | 0,95 | | | 0,00 |
| Geometria della fondazione (1=rettangolare; 0=sghemba) | 0 | | | 28 |
| | | | | 3,23E+07 |

| Accelerazione dir X ---->> | | | | | | | | | | | 1.280 | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------|-------|-------|--------|
| Accelerazione dir Y ---->> | | | | | | | | | | | | -1.280 | 1.280 | | |
| Accelerazione dir Z ---->> | | | | | | | | | | | | | | 0.640 | |
| CASI DI CARICO UNITARI | G1-PESO_SPALLA | G1-PESO_RINTERRO | G3-SPINTA_TERRA_S TA | Q1-SPINTA_MOBILI | Q3-FRENATURA_PAR A | G3-SPINTA_TERRA_S S | Q6-SOVRASPINTA_L | Q6- INERZIA_MASSE_L | Q6- INERZIA_MASSE_TP | Q6- INERZIA_MASSE_TN | Q6- INERZIA_MASSE_V | | | | |
| G1-PESO SPALLA | 1.000 | | | | | | | | | | | | | | |
| T1_O_MURO | | | 7.676 | | | 4.723 | 1.626 | | | | | | | | |
| U1_O_MURO | | | | 8.528 | | | 0.000 | | | 21.309 | | | | | |
| T1_P_MURO | | | 0.000 | | | 6.089 | 2.096 | | | | | | | | |
| U1_P_MURO | | | | 0.000 | | | 0.000 | | | 27.472 | | | | | |
| T1_O_PARA | | | 7.676 | | | 4.723 | 1.626 | | | | | | | | |
| U1_O_PARA | | | | 8.528 | | | 0.000 | | | 21.309 | | | | | |
| T1_P_PARA | | | 0.000 | | | 28.161 | 9.693 | | | | | | | | |
| U1_P_PARA | | | | 0.000 | | | 0.000 | | | 127.060 | | | | | |
| T1_O_FOND | | | 7.676 | | | 4.878 | 1.679 | | | | | | | | |
| U1_O_FOND | | | | 8.528 | | | 0.000 | | | | | | | | |
| T1_P_FOND | | | 0.000 | | | 0.000 | 0.000 | | | | | | | | |
| U1_P_FOND | | | | 0.000 | | | 0.000 | | | | | | | | |
| T1_SPERONI | | | 0.000 | | | 0.000 | 0.000 | | | | | | | | |
| U1_SPERONI | | | | 0.000 | | | 0.000 | | 0.000 | | | | | | |
| T1_BANDIERE | | | 7.676 | | | | | | | | | | | | |
| U1_BANDIERE_P | | | | 8.528 | | | | | | 21.047 | | | | | |
| U1_BANDIERE_N | | | | 8.528 | | | | | | | 21.047 | | | | |
| Z1_RINTERRO | | 180.000 | | | | | | | | | | | | | 11.745 |
| L1_FRENATURA | | | | | | 240.000 | | | | | | | | | |

Figura 12-2 – Tabella assegnazione azioni al modello di calcolo

12.2 Verifiche strutturali SLU-SLV

Si riportano di seguito le color map che diagrammano le richieste di armatura calcolate dal programma in funzione dell'involuppo delle sollecitazioni per lo stato limite in oggetto, a cui viene applicato il metodo di Wood - Armer nelle due direzioni ortogonali.

Le richieste di armatura, espresse in mm^2/mm , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

I versi di disposizione delle armature denominate nel seguito come: A_{st1} e A_{st2} sono mostrati nella figura sottostante.

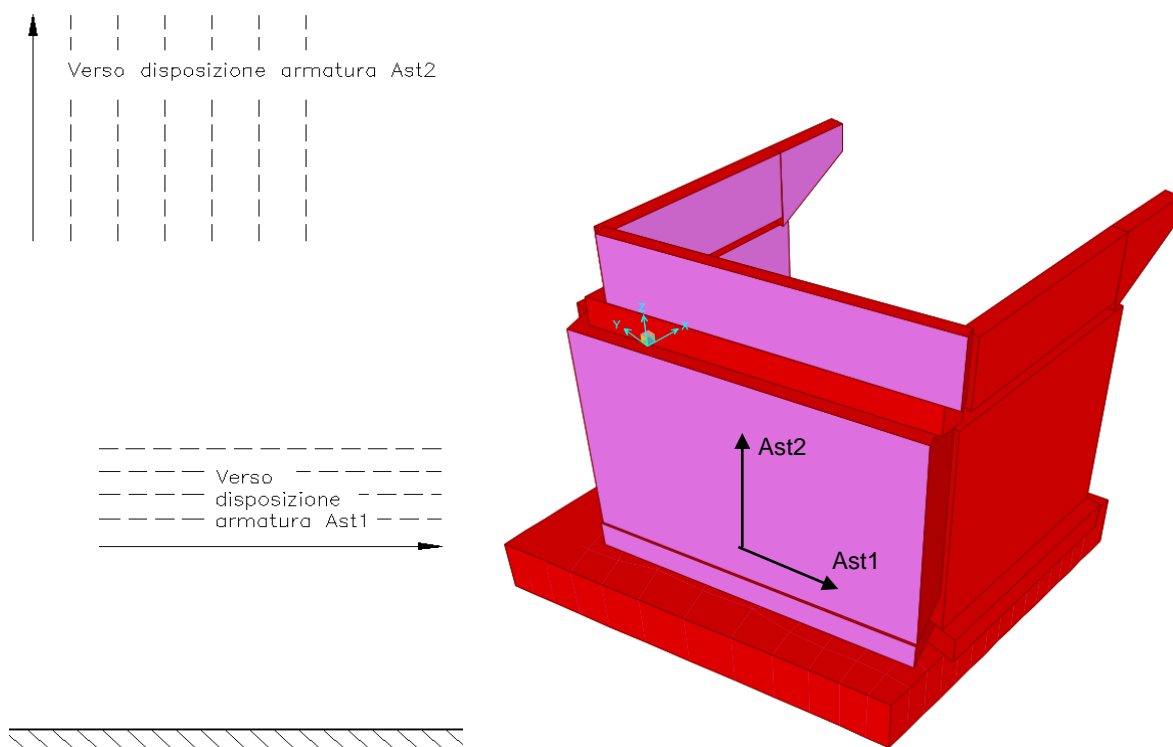


Figura 12-3 – Richiesta di armatura elevazione: convenzioni

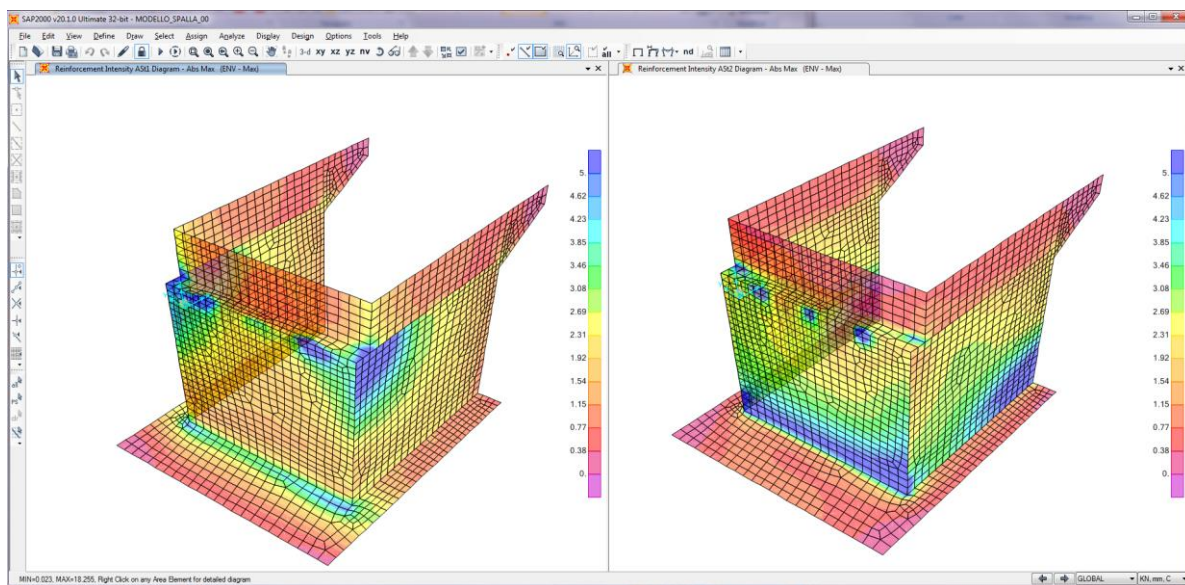


Figura 12-4 – Richiesta di armatura: Ast1 (sinistra) e Ast2 (destra)

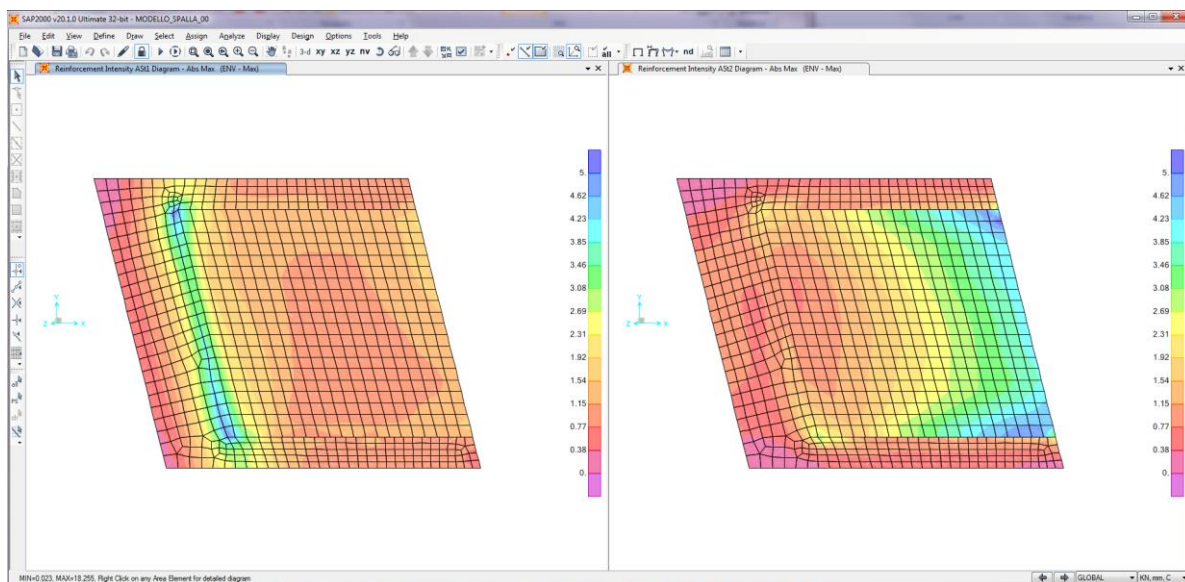


Figura 12-5 – Richiesta di armatura: Ast1 (sinistra) e Ast2 (destra) – dettaglio fondazione

Le richieste di armatura massime sono compatibili con le incidenze indicate negli elaborati e riassunte nella tabella sottostante.

| | Ast1 | | | Ast2 | | |
|-----------------|-------|--------|---------------------|-------|--------|---------------------|
| | passo | Φ | Area | passo | Φ | Area |
| | cm | mm | mm ² /mm | cm | mm | mm ² /mm |
| MURO PARAGHIAIA | 10 | 16 | 2.01 | 20 | 16 | 1.01 |
| MURO FRONTALE | 10 | 24 | 4.52 | 10 | 20 | 3.14 |
| MURI ANDATORI | 10 | 24 | 4.52 | 10 | 24 | 4.52 |
| PLATEA | 20 | 24 | 2.26 | 20 | 24 | 2.26 |

12.3 Verifica a ribaltamento

Di seguito si riporta la verifica al ribaltamento della spalla, valutato nella direzione longitudinale dell'impalcato, considerando il cinematismo di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

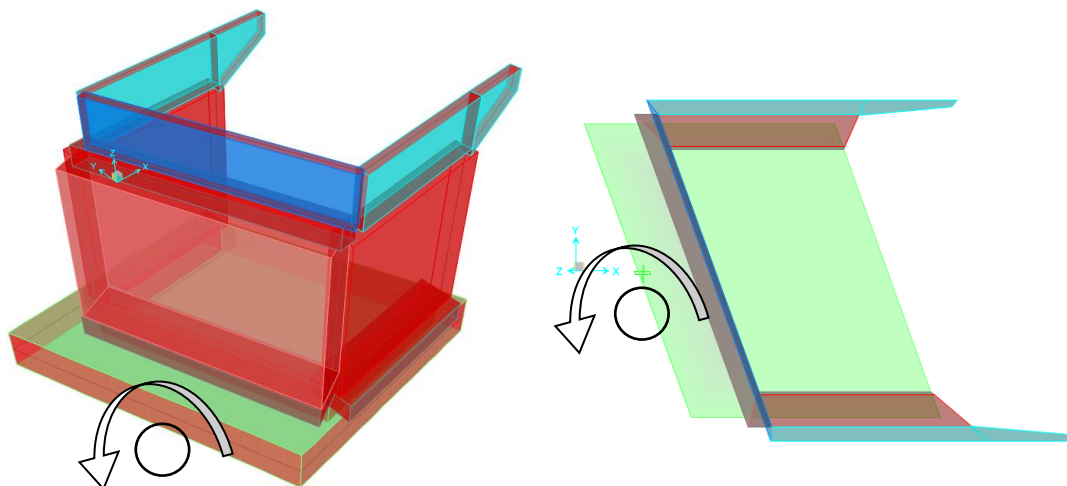


Figura 12-6 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

Le verifiche, in accordo al paragrafo 6.5.3.1 delle NTC18, sono condotte considerando l'Approccio di tipo 2, con la combinazione (A1+M1+R3), dove si pone $R3 = 1.15$ per le condizioni SLU e $R3 = 1$ per le condizioni SLV.

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLU sono:

VER_RIB_C in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte carico;

VER_RIB_S in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte scarico.

| TABLE: Combination Definitions | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------|----------------|----------|-------------|
| ComboName | ComboType | AutoDesign | CaseType | CaseName | ScaleFactor |
| Text | Text | Yes/No | Text | Text | Unitless |
| VER_RIB_C | Linear Add | No | Response Combo | EQU_1 | 1.15 |
| VER_RIB_C | | | Response Combo | EQU_3 | 1 |
| VER_RIB_S | Linear Add | No | Response Combo | EQU_2 | 1.15 |
| VER_RIB_S | | | Response Combo | EQU_3 | 1 |

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLV sono descritte nel paragrafo relativo alle combinazioni di carico.

Per la convenzione dei segni utilizzata, le verifiche si intendono soddisfatte quando il segno della reazione vincolare del momento intorno all'asse di ribaltamento risulta negativo.

| TABLE: Joint Reactions | | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|
| Joint | OutputCase | CaseType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| Text | Text | Text | KN | KN | KN | KN-m | KN-m | KN-m |
| 1 | SLU_SL1 | Combination | 10845 | -3285 | 28983 | -38413 | -115948 | 764 |
| 1 | SLU_SL2 | Combination | 11313 | -1195 | 28948 | -48604 | -114119 | 16073 |
| 1 | SLU_ST1 | Combination | 4987 | -4499 | 28909 | -34689 | -153771 | -16849 |
| 1 | SLU_ST2 | Combination | 6549 | 2466 | 28795 | -68659 | -147672 | 34181 |
| 1 | SLU_V1 | Combination | 5638 | -2065 | 30148 | -49124 | -158594 | -527 |
| 1 | SLU_V2 | Combination | 6107 | 25 | 30114 | -59315 | -156764 | 14782 |
| 1 | SLU_SL1_V- | Combination | 10755 | -3281 | 27886 | -36233 | -109984 | 701 |
| 1 | SLU_SL2_V- | Combination | 11224 | -1191 | 27852 | -46424 | -108155 | 16010 |
| 1 | SLU_ST1_V- | Combination | 4898 | -4496 | 27812 | -32508 | -147807 | -16912 |
| 1 | SLU_ST2_V- | Combination | 6459 | 2470 | 27698 | -66479 | -141708 | 34118 |
| 1 | SLU_V1_V- | Combination | 5340 | -2052 | 26493 | -41855 | -138714 | -738 |
| 1 | SLU_V2_V- | Combination | 5809 | 37 | 26458 | -52046 | -136884 | 14571 |
| 1 | VER_RIB_C | Combination | 9962 | -308 | 27164 | -53054 | -107966 | 26495 |
| 1 | VER_RIB_S | Combination | 9151 | -138 | 25442 | -49825 | -114955 | 25932 |
| 1 | VER_RIB_V | Combination | 8279 | -82 | 23969 | -48544 | -120656 | 25075 |

I risultati ottenuti, evidenziati in giallo, soddisfano tutti tale condizione.

Sono state lette le varie combinazioni rispetto all'asse di ribaltamento.

In particolare le combinazioni di tipo ribaltante sono state incrementate x 1.15 (paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC18, in osservanza alla Tab. 6.5.I) mentre quelle stabilizzanti sono state assunte unitarie. Il risultato della verifica mostra ulteriori riserve di sicurezza rispetto alle minime imposte.