

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA AV/AC VERONA - PADOVA**

**SUB TRATTA VERONA – VICENZA**

**1° SUB LOTTO VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

IN INTERFERENZE IDRAULICHE ED OPERE IDRAULICHE

IN01 – PROLUNGAMENTO TOMBINO AL Km 0+766,68

RELAZIONE DI CALCOLO

|  |                                      |                 |        |
|--|--------------------------------------|-----------------|--------|
| GENERAL CONTRACTOR   |                                      | ITALFERR S.p.A. | SCALA: |
| <b>ATI bonifica</b><br>Progettista integratore   | Consorzio IRICAV DUE<br>Il Direttore |                 | -      |
| Franco Persio Bocchetto<br>Dottore in Ingegneria Civile<br>iscritto all'Ordine degli Ingegneri<br>della Provincia di Roma<br>al n° 8664 – Sez. A<br>settore Civile ed Ambientale |                                      |                 |        |

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

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | N | D | 0 | 0 | D | I | 2 | C | L | I | N | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

|                     |                    |             |
|---------------------|--------------------|-------------|
| <b>ATI bonifica</b> | VISTO ATI BONIFICA |             |
|                     | Firma              | Data        |
|                     | Ing.F.P. Bocchetto | Maggio 2015 |

Progettazione

| Rev. | Descrizione | Redatto      | Data        | Verificato | Data        | Approvato | Data        | Autorizzato              |
|------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|--------------------------|
| A    | EMISSIONE   | P. Simonetti | Maggio 2015 | G.Nizzi    | Maggio 2015 | F.Momoni  | Maggio 2015 | F. Momoni<br>Maggio 2015 |
|      |             |              |             |            |             |           |             |                          |
|      |             |              |             |            |             |           |             |                          |
|      |             |              |             |            |             |           |             |                          |

|                                      |                       |           |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|
| File: IN0D00D12CLIN0100001A_00A.DOCX | CUP.: J41E91000000009 |           |
|                                      | CIG.: 3320049F17      | n. Elab.: |

**INDICE**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | PREMESSA .....  | 5  |
| 2      | SCOPO DEL DOCUMENTO .....   | 9  |
| 3      | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....                                    | 9  |
| 3.1    | DOCUMENTI REFERENZIATI .....                                      | 9  |
| 3.2    | DOCUMENTI CORRELATI.....  | 9  |
| 4      | NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....                                     | 9  |
| 5      | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....                               | 10 |
| 6      | IMPALCATO.....  | 12 |
| 6.1    | GEOMETRIA DELLA STRUTTURA.....                                    | 12 |
| 6.2    | FASE 1 .....  | 14 |
| 6.3    | FASE 2 .....  | 16 |
| 6.3.1  | <i>Analisi dei carichi</i> .....                                  | 16 |
| 6.3.2  | <i>Peso proprio degli elementi strutturali (G1)</i> .....         | 16 |
| 6.3.3  | <i>Carichi permanenti portati, escluso ballast (G2)</i> .....     | 16 |
| 6.3.4  | <i>Carichi permanenti portati, ballast (G2b)</i> .....            | 16 |
| 6.3.5  | <i>Spinta permanente del terreno (ENV-SP)</i> .....               | 17 |
| 6.3.6  | <i>Spinta simmetrica (SP-A, SP-R)</i> .....                       | 18 |
| 6.3.7  | <i>Spinta asimmetrica (SP-ASYM-SX; SP-ASYM-DX)</i> .....          | 18 |
| 6.3.8  | <i>Inviluppo delle spinte permanenti (ENV – SP)</i> .....         | 19 |
| 6.3.9  | <i>Azioni variabili da traffico ferroviario (ENV-TRAFF)</i> ..... | 20 |
| 6.3.10 | <i>Carichi verticali (Q)</i> .....                                | 20 |

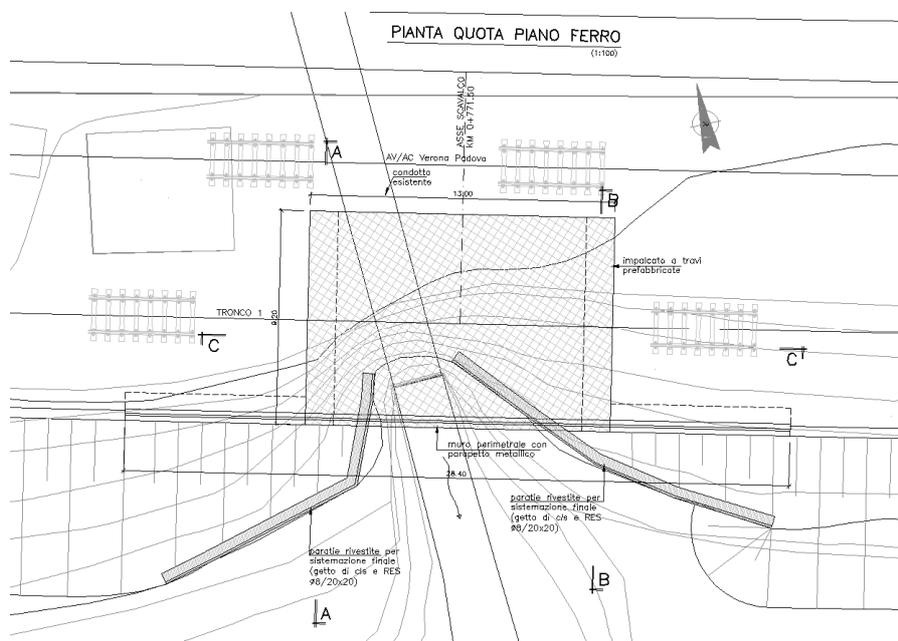
|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.3.11 | Spinte variabili prodotte dal sovraccarico ferroviario sul rinterro ..... | 21 |
| 6.3.12 | Frenatura e avviamento (ENV-FRENAVV).....                                 | 21 |
| 6.3.13 | Centrifuga e serpeggio (Q4).....  | 22 |
| 6.3.14 | Gruppi di carico .....  | 22 |
| 6.3.15 | Azioni termiche (ENV-TERMICA).....  | 23 |
| 6.3.16 | Ritiro (ENV-RITIRO).....  | 25 |
| 6.3.17 | Azioni sismiche.....  | 26 |
| 6.3.18 | Sovrappinta sismica terreno .....   | 28 |
| 6.4    | COMBINAZIONI DI CARICO.....   | 29 |
| 6.4.1  | Combinazione fondamentale SLU STRUTTURALE (A1+M1).....                    | 32 |
| 6.4.2  | Combinazione fondamentale SLU GEOTECNICA (A2+M2).....                     | 32 |
| 6.4.3  | Combinazione SLE rara .....   | 33 |
| 6.4.4  | Combinazione SLE frequente .....  | 33 |
| 6.4.5  | Combinazione SLE quasi permanente.....                                    | 33 |
| 6.4.6  | Combinazione SISMICA.....   | 34 |
| 6.5    | MODELLO DI CALCOLO .....  | 36 |
| 6.6    | VERIFICHE .....   | 40 |
| 6.6.1  | Stato limite ultimo – resistenza per flessione e/o pressoflessione .....  | 41 |
| 6.6.2  | Stato limite di apertura delle fessure.....                               | 41 |
| 6.6.3  | Tensioni massime in esercizio .....                                       | 42 |
| 6.6.4  | Sezioni di verifica .....   | 42 |
| 6.6.5  | Sollecitazioni di calcolo .....   | 44 |
| 6.6.6  | Verifica nodo superiore.....  | 50 |

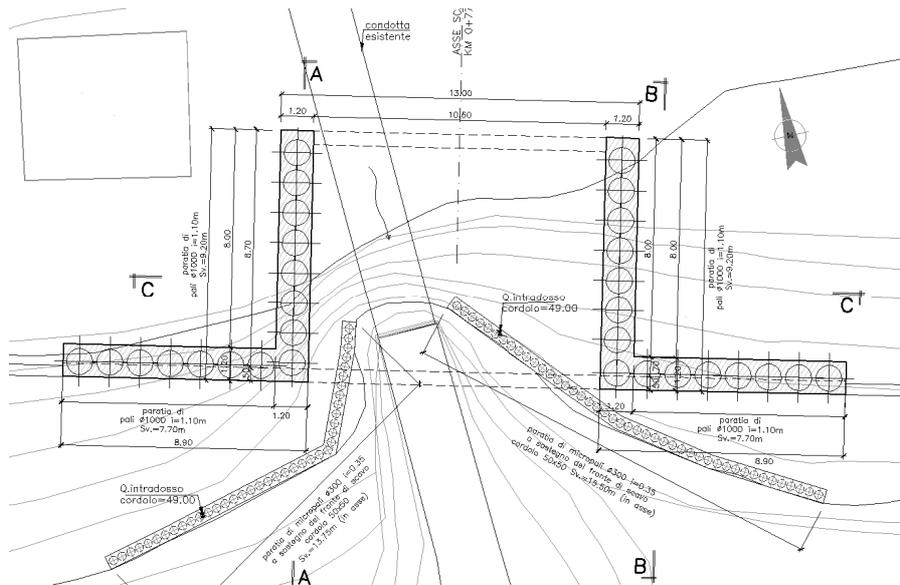
|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 6.6.7 | Verifica soletta in mezzeria ..... | 55 |
| 6.6.8 | Verifica a taglio.....             | 57 |
| 6.6.9 | Verifica palo.....                 | 59 |
| 7     | MURO SU PALI .....                 | 65 |
| 7.1.1 | Verifica muro.....                 | 71 |
| 7.1.2 | Verifica palo.....                 | 75 |

## 1 PREMESSA

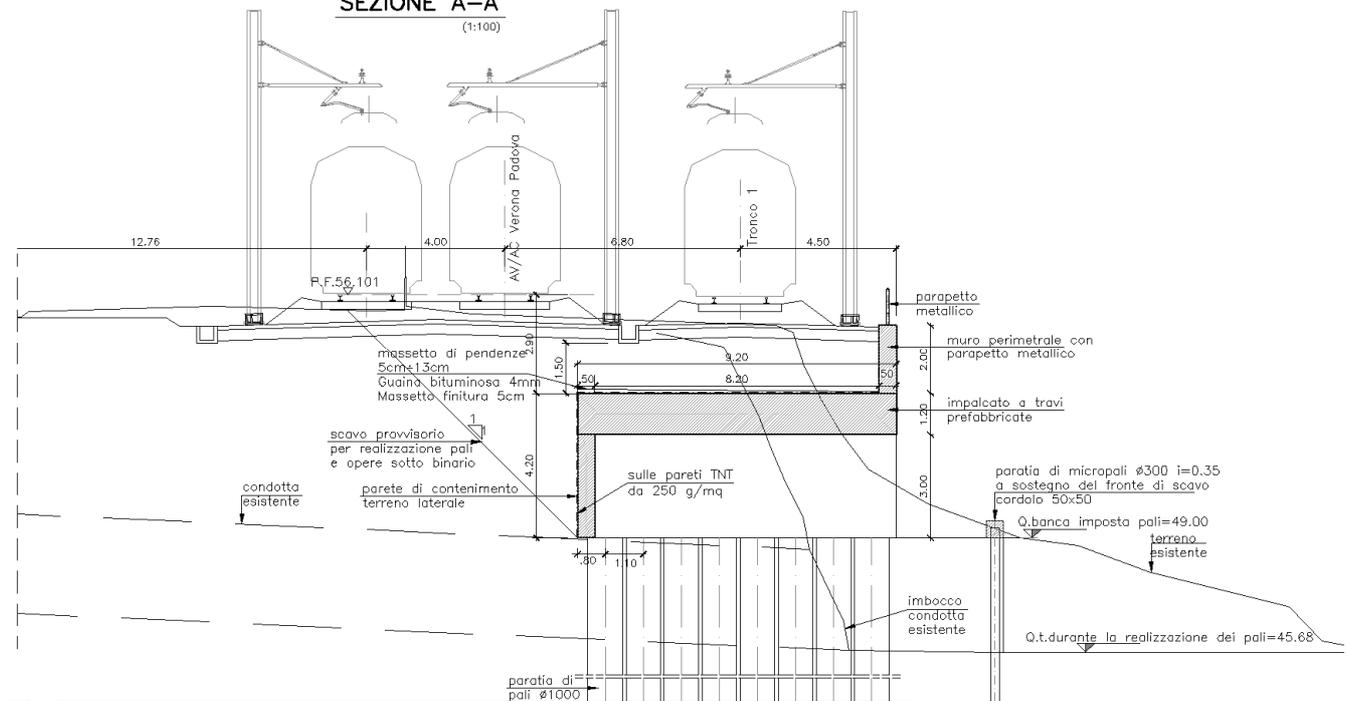
La presente relazione di calcolo ha per oggetto il dimensionamento strutturale dell'interferenza IN01.

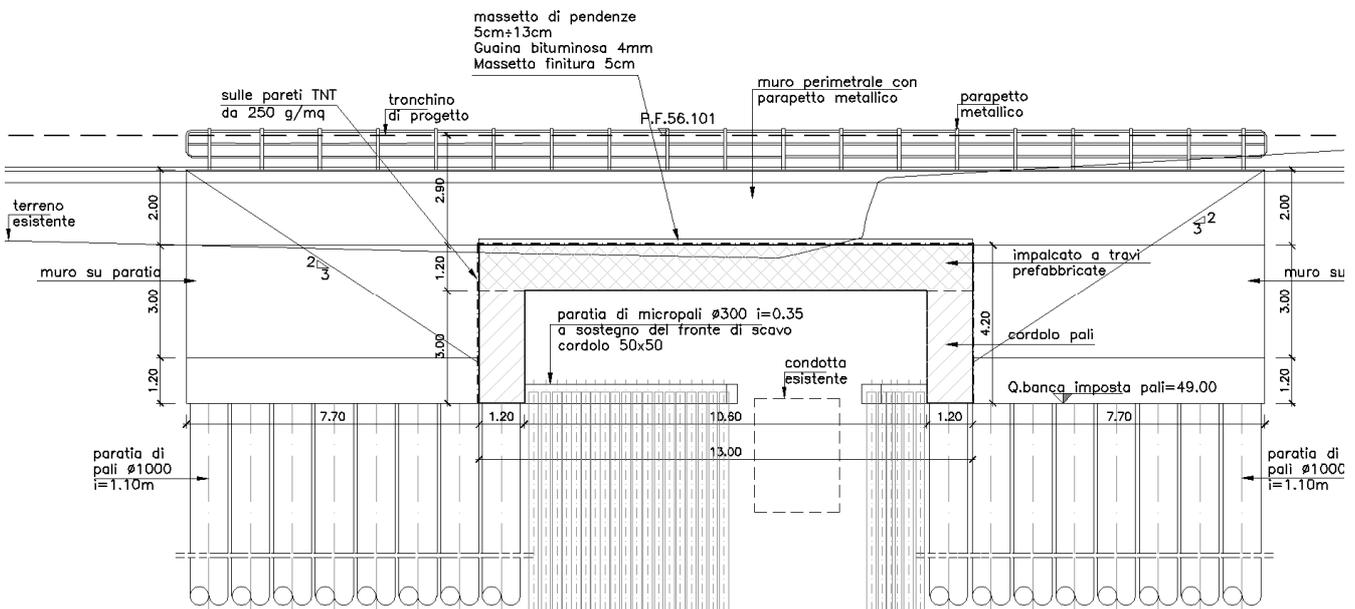
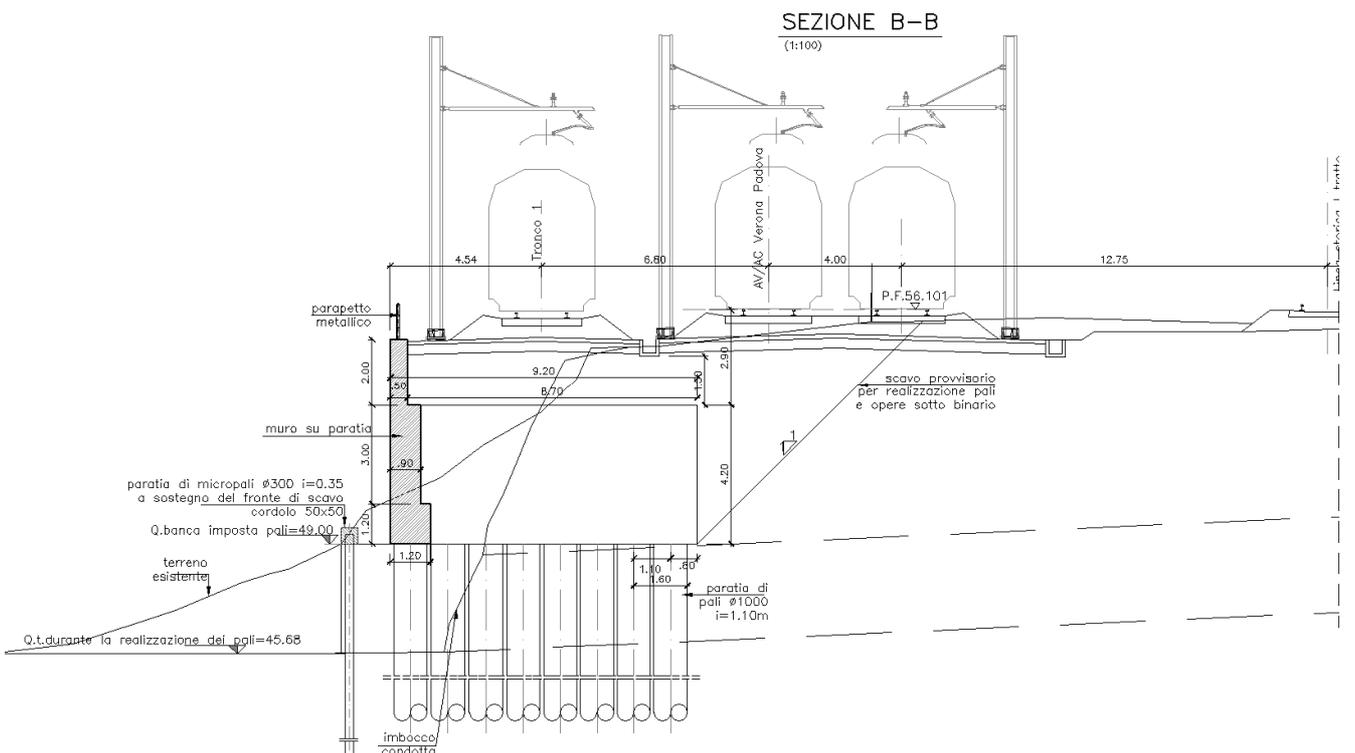
Si riportano alcune immagini dell'opera.





**SEZIONE A-A**  
(1:100)





# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

## 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

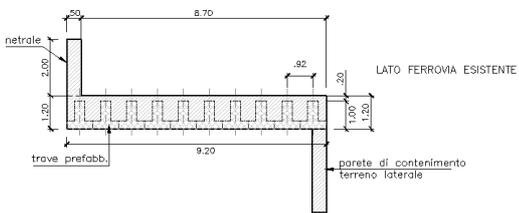
Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

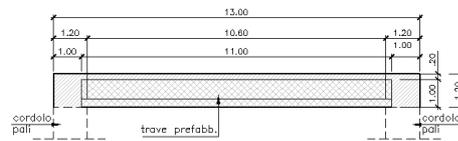
Pag 8 di 82

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

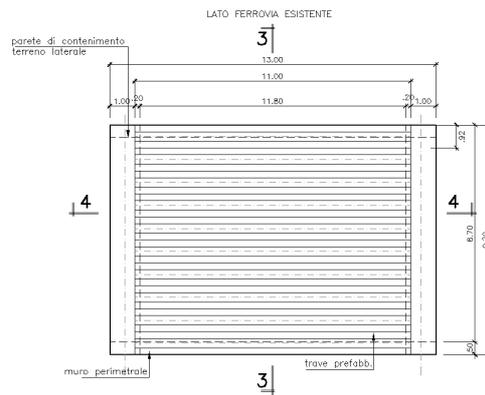
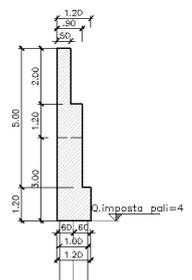
SEZIONE 3-3 IMPALCATO  
(1:100)



SEZIONE 4-4 IMPALCATO  
(1:100)



SEZIONE 2-2 PARATIA  
(1:100)



|  |   |             |
|--|---|-------------|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |             |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |             |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |             |
|  | PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.                                | Pag 9 di 82 |
|  | <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>                                   |             |

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è quello di calcolare lo scatolare di cui in premessa.

## 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 3.1 Documenti Referenziati

Non esistono documenti referenziati.

### 3.2 Documenti Correlati

Non esistono documenti correlati.

## 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente :

- NTC 2008 – D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008;
- C.M. 02/02/2009 n.617: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- RFI-DTC-INC-PO SP IFS 001 A - Istruzione per la progettazione e l'esecuzione di ponti ferroviari;
- RFI-DTC-INC-CS SP IFS 001 A - Istruzione 44G – Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M.14.01.08 alla progettazione geotecnica delle opere ferroviarie;

|  |   |              |
|--|---|--------------|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |              |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |              |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |              |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   |   | Pag 10 di 82 |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |              |

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- Per le opere in c.a. si adotta:

| II<br>campi di impiego   | III<br>classe di<br>esposizione<br>ambientale<br>(UNI EN<br>206) | IV<br>classe di<br>resistenza<br>minima<br>[C(f <sub>ck</sub> /R <sub>ck</sub> ) <sub>min</sub> ] | IV.a<br>classe di<br>resistenza<br>adottata<br>[C(f <sub>ck</sub> /R <sub>ck</sub> ) <sub>min</sub> ] | V<br>classe di<br>resistenza di<br>calcolo R <sub>ck</sub><br>(MPa) |
|--|--|---|---|---|
| Opere in elevazione con superfici interrate<br>o non ispezionabili | XC3  | C28/35  | C28/35  | 35  |
| Pali   | XC2  | C25/30  | C25/30  | 30  |

| 2 Corrosione indotta da carbonatazione  |                                    |   |
|---|------------------------------------|---|
| Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente:<br>Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente. |                                    |   |
| XC1   | Asciutto o permanentemente bagnato | Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa<br>Calcestruzzo costantemente immerso in acqua   |
| XC2   | Bagnato, raramente asciutto        | Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo<br>Molte fondazioni  |
| XC3   | Umidità moderata                   | Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata<br>Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia |
| XC4   | Ciclicamente bagnato ed asciutto   | Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2   |

**Figura 1 – Prospetto 1 della UNI EN 206**

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

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

Le opere rientrano quindi nella condizione ambientale ordinaria. Le caratteristiche meccaniche sono:

|   |               |                           |
|---|---------------|---------------------------|
| coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo | $\gamma_c$    | 1.5                       |
| coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata    | $\alpha_{cc}$ | 0.85                      |
| modulo di Poisson   | $\nu$         | 0.2                       |
| peso dell'unità di volume                                   | $\rho$        | 25 kN/m <sup>3</sup>      |
| coefficiente di dilatazione termica                         | $\alpha$      | 1.00E-05 °C <sup>-1</sup> |

| $f_{ck}$<br>[MPa] | $R_{ck}$<br>[MPa] | Classe | $f_{cm}$<br>[MPa] | $f_{cd}$<br>[MPa] | $E_{cm}$<br>[MPa] | $f_{ctm}$<br>[MPa] | $f_{ctk\ 0,05}$<br>= 0.7* $f_{ctm}$<br>[MPa] | $f_{ctk\ 0,95}$<br>= 1.3* $f_{ctm}$<br>[MPa] | $f_{ctm}$<br>[MPa] | $f_{ctd} =$<br>$f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$<br>[MPa] |
|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--|--|--------------------|--|
| 25                | 30                | C25/30 | 33                | 14.17             | 31476             | 2.56               | 1.80   | 3.33   | 3.08               | 1.20   |
| 28                | 35                | C28/35 | 36                | 15.87             | 32308             | 2.77               | 1.94   | 3.60   | 3.32               | 1.29   |

- Per l'acciaio da c.a. si adotta:

|  |            |           |
|--|------------|-----------|
| Acciaio tipo                           |            | B450C     |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk}$   | 450 MPa   |
| Coefficiente parziale di sicurezza     | $\gamma_s$ | 1.15 -    |
| Resistenza di progetto                 | $f_{yd}$   | 391.3 MPa |

## 6 IMPALCATO

### 6.1 Geometria della struttura

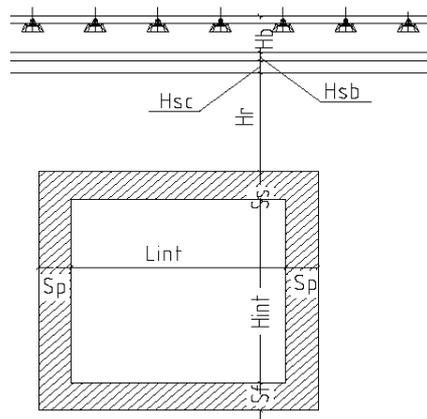
La struttura in oggetto sottopassa la linea ferroviaria ad una distanza fra piano ferro ed estradosso soletta pari a 2.85 m.

Esso ha dimensioni interne 10.60×3.0m, con piedritti e soletta superiore di spessore 120 cm. I piedritti poggiano direttamente su pali del 1000.

La soletta superiore viene realizzata con travi in c.a. prefabbricate alte 1m con sezione a T. Viene poi realizzato un getto di completamento.

La struttura viene studiata in 2 fasi. Nella prima, si effettua un calcolo a trave poggiata con la sezione resistente della sola trave soggetta al peso proprio e al getto della soletta. Nella seconda, viene realizzato un modello agli elementi finiti a telaio, dove vengono modellati anche i pali con delle molle orizzontali e verticali.

Il modello si riferisce ad una striscia unitaria.



**Figura 2 – Geometria dell'opera**

Le caratteristiche geometriche risultano:

|                                       |     |        |
|---------------------------------------|-----|--------|
| Spessore medio del ballast+ armamento | Hb  | 0.75 m |
| Spessore traversina + rotaie          | Htb | 0.40 m |
| Spessore sotto traversa               | Hsb | 0.35 m |
| Spessore del sub ballast              | Hsb | 0.00 m |
| Spessore del supercompattato          | Hsc | 0.00 m |

|   |                 |         |
|---|-----------------|---------|
| Spessore del rinterro                                 | Hr              | 2.10 m  |
| Spessore del sub ballast + supercompattato + rinterro | $H1=Hr+Hsc+Hsb$ | 2.10 m  |
| Spessore soletta superiore                            | Ss              | 1.20 m  |
| Spessore piedritti                                    | Sp              | 1.20 m  |
| Spessore soletta inferiore                            | Sf              | 0.00 m  |
| Larghezza utile del sottopasso                        | Lint            | 10.60 m |
| Altezza utile del sottopasso                          | Hint            | 3.00 m  |
| Larghezza totale del sottopasso                       | Ltot            | 13.00 m |
| Altezza totale del sottopasso                         | Htot            | 4.20 m  |
| Larghezza striscia di calcolo                         | b               | 1.00 m  |

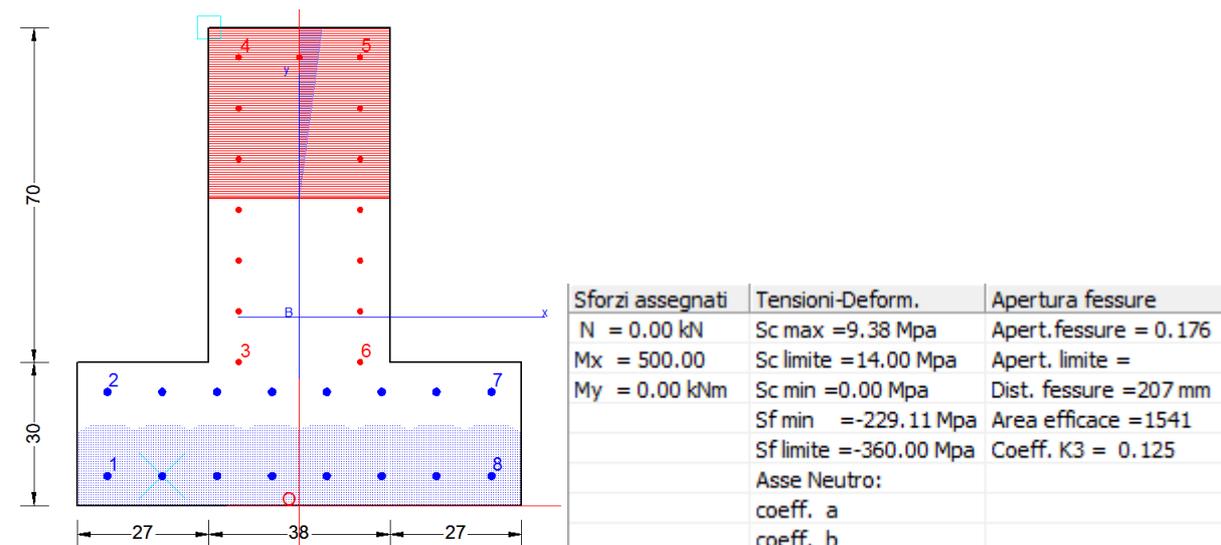
**6.2 Fase 1**

La trave lavora in semplice appoggio su una luce di 11m in asse ai piedritti.

Il carico caratteristico è pari a  $25 \cdot 1.2 = 30$  kN/mq. Si considera inoltre un carico per le lavorazioni di 2 kPa.

Il momento nella comb. SLE rara è pari a  $32 \cdot 11^2 / 8 = 484 \approx 500$  kNm

Si riporta la verifica a fessurazione limitando l'ampiezza a 0.200mm, considerando la struttura come se fosse interrata.



| Legenda barre               | Dati sezione solo conglom.    |
|-----------------------------|-------------------------------|
| ● 16 Ø 16                   | ASSI X,Y Rifer.Sezione        |
| ● 15 Ø 12                   | Area = 5385 cm <sup>2</sup>   |
|                             | X baric. = 0.000 cm           |
|                             | Y baric. = 39.373 cm          |
|                             | SX = 212025 cm <sup>3</sup>   |
|                             | SY = 0 cm <sup>3</sup>        |
|                             | JX = 12990500 cm <sup>4</sup> |
|                             | JY = 2254337 cm <sup>4</sup>  |
| Af tot = 49.13<br>( 0.91 %) |                               |

Risulta una tensione nell'armatura di 229 MPa e un'apertura delle fessure di 0.176mm

La compressione nel cls è di 9.4 MPa < 0.55\*28 = 15.4 MPa

Il taglio allo SLU è pari a  $32 * 1.35 * 11/2 \approx 240$  kN

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Passo staffe: 20.0 cm

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
VsdU Taglio di progetto [kN] = proiezz. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.19) NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

| N°Comb | Ver | VsdU   | Vcd    | Vwd    | Dmed | bw   | Teta   | Acw   | Ast | A.Eff    |
|--------|-----|--------|--------|--------|------|------|--------|-------|-----|----------|
| 1      | S   | 240.00 | 877.21 | 648.61 | 93.8 | 38.0 | 21.80° | 1.000 | 2.9 | 7.9(0.0) |

|  |   |              |  |
|--|---|--------------|--|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |              |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |              |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |              |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   |   | Pag 16 di 82 |  |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |              |  |

## 6.3 Fase 2

### 6.3.1 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

I pesi dei materiali da costruzione e del terreno sono indicati nella tabella seguente:

|                                 | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\phi$ (°) | $c'$ (°) |
|---------------------------------|-------------------------------|------------|----------|
| calcestruzzo armato             | 25                            | -          | -        |
| ballast + armamento             | 18                            | -          | -        |
| Terreno a ridosso dei piedritti | 20                            | 38         | -        |

### 6.3.2 Peso proprio degli elementi strutturali (G1)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma = 25$  kN/m<sup>3</sup>.

In favore di sicurezza, il peso proprio viene considerato come se la soletta superiore nascesse direttamente ocn lo schema a telaio

Peso soletta superiore:  $P_{ss} = 1.20 \cdot 25 \cdot 1 = 30.00$  kN/m

Peso piedritti:  $P_p = 1.20 \cdot 25 \cdot 1 = 30.00$  kN/m

### 6.3.3 Carichi permanenti portati, escluso ballast (G2)

- Su soletta superiore

– Terreno di riempimento  $2.10 \times 20 \times 1 = 42$  kN/m

Totale  $G_{2,sup} = 42$  kN/m

### 6.3.4 Carichi permanenti portati, ballast (G2b)

– Permanente portato (ballast, sp.80cm)  $G_{2,sup,b} = 0.80 \times 18 \times 1 = 14.4$  kN/m

### 6.3.5 Spinta permanente del terreno (ENV-SP)

La spinta permanente del terreno viene considerata mediante opportuna combinazione delle 5 azioni elementari di spinta di seguito riportate. In condizioni statiche, è stata considerata, a seconda che l'effetto fosse favorevole o sfavorevole, la spinta attiva (SP-A), la spinta a riposo (SP-R) e una condizione di spinta asimmetrica (SP-ASYM-SX).



Figura 3 – diagramma di spinta elementare – s1=1



Figura 4 – diagramma di spinta elementare – s2=1



Figura 5 – diagramma di spinta elementare – s3=1



Figura 6 – diagramma di spinta elementare – s4=1



|  |   |      |              |
|--|---|------|--------------|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |      |              |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |      |              |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |      |              |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO  |   | REV. | Pag 18 di 82 |
| IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A   |   |      |              |

**Figura 7 – diagramma di spinta elementare – s5=1**

### 6.3.6 Spinta simmetrica (SP-A, SP-R)

Tale azione riguarda la spinta totale laterale in condizioni attive e comprende:

- La componente di spinta triangolare sull'altezza totale del piedritto con pressione verticale massima alla base pari a:

$$s_1 = \gamma \cdot h = 84 \text{ KN/m}^2$$

con:

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$h = 4.20 \text{ m (altezza fuori tutto dello scatolare)}$$

- La componente di spinta rettangolare del terreno al disopra del solettone, considerato come un sovraccarico pari a:

| Strato   | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | H (m)               | $\gamma \times H$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--|-------------------------------|---------------------|--|
| Spessore medio del ballast + armamento                           | 18                            | 0.80 m              | 14.40 m                                |
| Terreno di riempimento   | 20                            | 2.10 m              | <u>42.00 m</u>                         |
| Tensione verticale totale all'estradosso della soletta superiore |                               | $s_{2g} = s_{3g} =$ | 56.40 m                                |

Le spinte sono state calcolate con i parametri M1 e con gli M2. I coefficienti di spinta orizzontale valgono:

| Combinazione          | Comb       | M1    | M2 -    |
|-----------------------|------------|-------|---------|
| angolo di attrito     | $\varphi'$ | 38.0  | 32.0 °  |
| coeff spinta a riposo | k0         | 0.384 | 0.470 - |
| coeff spinta attiva   | ka         | 0.238 | 0.307 - |

### 6.3.7 Spinta asimmetrica (SP-ASYM-SX; SP-ASYM-DX)

Si considera una condizione di spinta asimmetrica ipotizzando da una parte la spinta a riposo e dall'altra la spinta attiva. Le due condizioni di spinta in oggetto si ottengono mediante la combinazione lineare delle seguenti azioni:

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   | Pag 19 di 82  |  |
| IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A   |   |  |

### 6.3.8 *Inviluppo delle spinte permanenti (ENV – SP)*

E' stata definita una combinazione di inviluppo delle due condizioni elementari sopra definite (SP-A, SP-R, SP-ASYM-SX; SP-ASYM-DX).

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   | Pag 20 di 82  |  |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |  |

### 6.3.9 Azioni variabili da traffico ferroviario (ENV-TRAFF)

Le azioni considerate prodotte dal traffico ferroviario agente sul solettone superiore dello scatolare sono le seguenti:

- Carico verticale su soletta superiore e relative spinte congruenti;
- Azione di frenatura;

### 6.3.10 Carichi verticali (Q)

Il carico verticale agente sulla traversina, si diffonde all'interno pacchetto ballast, sub ballast, super compattato, rinterro, fino al piano medio della soletta nel seguente modo:

- 4:1 nel ballast sotto traversa;
- 3:2 nel pacchetto sub ballast, super compattato e rinterro (in seguito denominato H1);
- 1:1 all'interno della soletta

L'incremento della zona di diffusione del carico (a), vale pertanto:

$$a = [(H_b - H_{tb})/4 + H_1/3 \times 2 + S_s/2] \times 2 = 4.18 \text{ m}$$

Le lunghezze totali di ripartizione del carico nei due sensi longitudinale e trasversale, risultano essere:

$$\text{Lunghezza di diffusione longitudinale per gli assi del LM71} \quad B_{l,1} = (0.8 + 1.6 \times 3 + 0.8) + a = 10.58 \text{ m}$$

$$\text{Larghezza di diffusione trasversale} \quad B_t = 2.40 + a = 6.58 \text{ m} \quad (2.40\text{m, larghezza traversina})$$

Il coefficiente di adattamento  $\alpha$ , per opere di 1° categoria, è pari a 1.1 per LM71 e 1 per SW2

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al paragrafo 1.4.2 "effetti dinamici" delle istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari. Visto che l'altezza della copertura  $h=2.68\text{m}$  è maggiore di 2.50m, si assume un coefficiente unitario

Nel caso in cui l'asse del binario attraversa lo scatolare secondo una inclinazione  $\alpha$ , i sovraccarichi vengono amplificati del rapporto  $1/\cos\alpha$ .

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br><br> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   | Pag 21 di 82  |  |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |  |

Con  $\alpha=0^\circ$   $1/\cos\alpha = 1.0$

In definitiva, il sovraccarico da traffico ferroviario, risulta essere:

- Per LM71
  - Assi LM71 su scatolare  $q1 = (4 \times 250 \times 1.1) / (B_{1,1} \times B_t) \times \Phi_3 \times (1/\cos\alpha) = 15.82 \text{ kN/m}^2$
  - Coda LM71 su scatolare  $q2 = (80 \times 1.1) / B_t \times \Phi_3 \times (1/\cos\alpha) = 13.38 \text{ kN/m}^2$
- Per SW2 su scatolare  $q3 = (150 \times 1.0) / B_t \times \Phi_3 \times (1/\cos\alpha) = 22.81 \text{ kN/m}^2$

Dal momento che il carico a mq relativo all'LM71 è inferiore a quello dell'SW2, ed inoltre non copre tutta la luce dello scatolare, nei calcoli seguenti si fa riferimento solo al treno SW2.

### 6.3.11 Spinte variabili prodotte dal sovraccarico ferroviario sul rinterro

Essendo tale azione variabile, il suo effetto deve essere considerato pari al valore massimo possibile, pertanto le spinte del sovraccarico vengono considerate solo in condizioni di spinta a riposo.

La spinta orizzontale viene calcolata partendo dalla pressione verticale prodotta dal sovraccarico agente sul rinterro, senza il coefficiente di incremento dinamico e con una lunghezza di diffusione longitudinale  $B_{1,1}$ , moltiplicata per il coefficiente di spinta a riposo.

I valori della spinta uniforme agente sui piedritti vale pertanto

- Per SW2  $s03 = [ (150 \times 1.0) / B_t (1/\cos\alpha) ] \times K_0 = 8.77 \text{ kN/m}^2$

Le combinazioni di carico relative all'effetto del sovraccarico verticale e delle spinte prodotte dal sovraccarico, vengono di seguito riportate.

### 6.3.12 Frenatura e avviamento (ENV-FRENAVV)

I valori caratteristici della forza massima di frenatura e avviamento valgono:

- Avviamento LM71  $33 \times 1.1 = 36.3 \text{ kN/m}$
- Frenatura SW2  $35 \times 1.0 = 35 \text{ kN/m}$

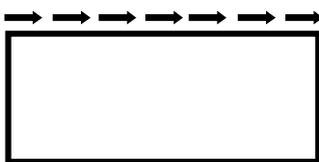
Essendo tali azioni paragonabili, si considera una sola condizione di carico pari al valore massimo, e la si combina con gli effetti prodotti dalle azioni verticali e le spinte prodotte dal sovraccarico verticale (Q-ENV)

La forza massima agente su una striscia di 1m, considerando la larghezza di diffusione trasversale  $B_t$  vale:

$$Q3 = 36.3 / B_t \times (1/\cos\alpha) = 5.52 \text{ kN/m}$$

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   | Pag 22 di 82  |  |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |  |

L'azione longitudinale viene applicata al modello di calcolo attraverso la condizione di carico elementare  $q_l=1$



**Figura 8 – azione elementare trasversale –  $q_l=1$**

Per considerare il doppio verso dell'azione longitudinale, si utilizza la combinazione “ABSOLUTE ADD” prevista dal programma di calcolo, che considera alternativamente la stessa azione secondo i due versi opposti.

### **6.3.13 Centrifuga e serpeggio (Q4)**

Tali azioni, agenti in direzione ortogonale al binario, quindi in direzione parallela all'asse longitudinale dello scatolare, possono essere trascurate.

### **6.3.14 Gruppi di carico**

In definitiva, le azioni prodotte dal traffico ferroviario, vengono considerate nei seguenti gruppi di carico, come indicato dalle Istruzioni ferroviarie

Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

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

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α, ecc.)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

I valori fra parentesi indicati nella Tab. 5.2.IV vanno assunti quando l'azione risulta favorevole nei riguardi della verifica che si sta svolgendo.

Il gruppo 4 è da considerarsi esclusivamente per le verifiche a fessurazione. I valori indicati fra parentesi si assumeranno pari a: (0,6) per impalcati con 2 binari caricati e (0,4) per impalcati con tre o più binari caricati."

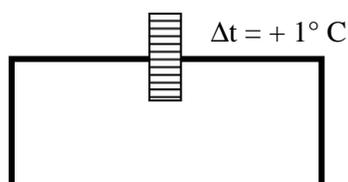
TABLE: Combination Definitions

| ComboName      | ComboType  | CaseName    | ScaleFactor |
|----------------|------------|-------------|-------------|
| Text           | Text       | Text        | Unitless    |
| ENV-TRAFF-gr.3 | Linear Add | Q-ENV       | 1           |
| ENV-TRAFF-gr.3 |            | FRENAVV-ENV | 1           |
| ENV-TRAFF-gr.4 | Linear Add | Q-ENV       | 0.8         |
| ENV-TRAFF-gr.4 |            | FRENAVV-ENV | 0.8         |

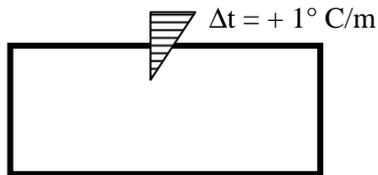
### 6.3.15 Azioni termiche (ENV-TERMICA)

Alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a  $\Delta t = \pm 15^\circ \text{C}$  ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a  $\Delta t = \pm 5^\circ \text{C}$ .

Le due condizioni elementari si considerano agenti singolarmente e simultaneamente, combinandole con opportuni coefficienti



**Figura 9 – azione elementare trasversale – DTuni=1**



**Figura 10 – azione elementare trasversale – DTdiff=1**

- DT uni                     $15^\circ\text{C}$     con ComboType = Abs Add
- DT diff                     $(5^\circ\text{C/m}) / (\text{sp. Soletta sup.}) = 5 / 1.2 = 4.17^\circ\text{C}$

### 6.3.16 Ritiro (ENV-RITIRO)

Il ritiro si considera agente sulla sola soletta. Si applica un'azione termica equivalente pari a -11 °C con il modulo ridotto di 1/3.

Valutazione effetti ritiro

Dati input

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| fck | <b>28</b>       | Mpa |
| UR  | <b>80</b>       | %   |
| Ac  | <b>1</b>        | mq  |
| U   | <b>1</b>        | m   |
| h0  | 2000            | mm  |
| t   | <b>1.00E+99</b> | gg  |
| ts  | <b>2</b>        | gg  |

$$ecd,inf = kh \times ec0$$

-1.8E-04                      0.7                      -2.6E-04

$$ecd(t) = bds \times ecd,inf$$

-1.8E-04                      1                      -1.8E-04

$$bds(t-ts) = \frac{(t-ts)}{(t-ts)+0.04*h0^{1.5}} \times 1.00$$

$$ecs = ecd + eca$$

**-2.3E-04**                      -1.8E-04                      +                      -4.5E-05

Dt equivalente                      **-23**                      °C

Dt di combinazione                      **0.5**                      **-11**                      °C

Modulo di elasticità                      3.2E+07                      kN/mq

Modulo ridotto                      0.333333333                      **1.1E+07**                      kN/mq

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br><br> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   | Pag 26 di 82  |  |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |  |

### 6.3.17 Azioni sismiche

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

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

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

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

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

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

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 14/01/2008, viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N = 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV, in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a:

| LONG      | LAT       | $a_g$        |
|-----------|-----------|--------------|
| 11.023828 | 45.435906 | <b>0.233</b> |

I parametri sismici sono calcolati con riferimento all'allegato A delle NTC 2008, il quale fa riferimento alle mappe di pericolosità sismiche fornite dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

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

$$a_{\max} = S * a_g = S_s * S_T * a_g$$

dove:

$S_s = 1.36$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica, per Terreno C

$S_T = 1$  Coefficiente di amplificazione topografica, per categoria 1

ne deriva che:

$$a_{\max} \approx 0.317 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.317$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h = 0.158$$

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

$$G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$$

Dove nel caso specifico si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari  $\psi_{2j} = 0.2$

Pertanto avremo che:

#### SismaH

Forza orizzontale sulla soletta di copertura totale:

$$F_{h1} = (P_{ss} + G_{2,\text{sup}} + G_{2,\text{sup},b} + 0.2 \times q1) k_h = (30 + 42 + 14.4 + 0.2 \times 22.8) \times 0.317 = 28.82 \text{ kN/m}$$

Forza Orizzontale sui Piedritti:

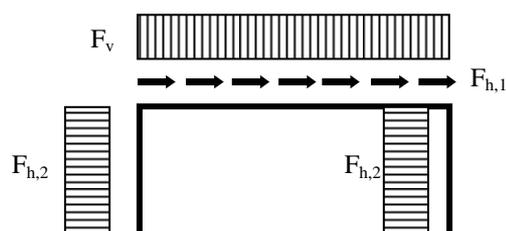
$$F_{h2} = P_p \times k_h = 30 \times 0.317 = 9.51 \text{ kN/m}$$

#### SismaV

Per la forza sismica verticale avremo analogamente:

Forza verticale sulla soletta di copertura:

$$F_v = (P_{ss} + G_{2,\text{sup}} + G_{2,\text{sup},b} + 0.2 \times q1) k_v = (30 + 42 + 14.4 + 0.2 \times 22.8) \times 0.158 = 14.41 \text{ kN/m}$$



**Figura 11 – Forze sismiche agenti sulla struttura**

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |  |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |  |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |  |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.   | Pag 28 di 82  |  |
| <b>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</b>  |   |  |

### 6.3.18 Sovrappinta sismica terreno

Le spinte delle terre potranno essere determinate secondo la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H, viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2$$

Tale risultante, applicata ad un'altezza pari ad  $H_{\text{tot}}/2$ , sarà considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

$$\Delta S_E = 0.317 \times 20 \times 4.20^2 = 111.80 \text{ kN/m}$$



**Figura 12 – Spinta sismica del terreno secondo la teoria di Wood**

Nel modello di calcolo, viene applicato il valore della sovrappinta sismica per unità di altezza agente su un piedritto pari a:

$$\text{Sovrappinta sismica} = \Delta S_E / H_{\text{tot}} = 26.62 \text{ kN/m/m}$$

|  |   |              |
|--|---|--------------|
| <br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                    |              |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                     |              |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66 |              |
|  | PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.                                | Pag 29 di 82 |
|  | IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A  |              |

#### 6.4 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite si riportano le combinazioni delle azioni elencate al punto 1.8.3 della Istruzione ferroviaria, la quale riporta integralmente quanto scritto nelle NTC 2008:

Si richiama integralmente il cap. 2 e i paragrafi 4.1, 4.2 e 4.3 del DM 14.1.2008, e si riportano nel seguito le combinazioni delle azioni da utilizzare.

- 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 (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

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

- 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 (v. § 3.2):

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

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A<sub>d</sub> (v. § 3.6):

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

Per la combinazione sismica si rimanda al punto 1.7 e all'Istruzione 44 B. I valori dei coefficienti  $\psi_{0i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $\psi_{2i}$  indicati nella formula di combinazione precedente sono indicati nella tabella 5.2.VI e 5.2.VII riportate al paragrafo 1.8.3.2.

Per quanto riguarda l'azione sismica, si riporta il paragrafo 1.7 dell'Istruzione ferroviaria 44B

## 1.7. COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON ALTRE AZIONI

La modalità di combinazione dell'azione sismica con le altre azioni è definita nel par. 3.2.4 del DM 14.1.2008 che si riporta nel seguito:

*Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni già fornita in § 2.5.3 (del D.M.) e che qui si riporta:*

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{2j}$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo in conto delle masse indicate al precedente paragrafo 1.5.2.

*Nel caso dei ponti, nelle espressioni precedenti si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli  $\psi_{2j} = 0,2$ , quando rilevante.*

In merito alle verifiche i coefficienti di combinazione  $\psi_2$  da adottare nella combinazione sismica sono riportati nella tabella 5.2.VI e 5.2.VII del par. 5.2.3.3.2 del DM 14.1.2008, che, ad ogni buon conto si riportano integralmente:

**Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni:**

| Azioni                     |   | $\psi_0$            | $\psi_1$            | $\psi_2$ |
|----------------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole da traffico | Carico sul rilevato a tergo delle spalle                | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
|                            | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
| Gruppi di carico           | $\psi_1$  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                            | $\psi_2$  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | -        |
|                            | $\psi_3$  | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                            | $\psi_4$  | 1,00                | 1,00 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Azioni del vento           | F <sub>Wk</sub>   | 0,60                | 0,50                | 0,0      |
| Azioni da neve             | in fase di esecuzione                                   | 0,80                | 0,0                 | 0,0      |
|                            | SLU e SLE   | 0,0                 | 0,0                 | 0,0      |
| Azioni termiche            | T <sub>k</sub>  | 0,60                | 0,60                | 0,50     |

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

**Tabella 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.**

| Azioni                              |                             | $\psi_0$            | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------|----------|
| Azioni<br>singole<br>da<br>traffico | Treno di carico LM 71       | 0,80 <sup>(3)</sup> | (1)      | 0,0      |
|                                     | Treno di carico SW /0       | 0,80 <sup>(3)</sup> | 0,80     | 0,0      |
|                                     | Treno di carico SW/2        | 0,0 <sup>(3)</sup>  | 0,80     | 0,0      |
|                                     | Treno scarico               | 1,00 <sup>(3)</sup> | -        | -        |
|                                     | Centrifuga                  | (2)                 | (2)      | (2)      |
|                                     | Azione laterale (serpeggio) | 1,00 <sup>(3)</sup> | 0,80     | 0,0      |

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

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

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

I gruppi di carico di cui alla tabella 5.2.IV del par. 5.2.3.1.3 del DM 14.1.2008, da considerare sono il Gruppo 1 e il Gruppo 3.

**Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico**

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

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc...)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

*I valori fra parentesi indicati nella Tab. 5.2.IV vanno assunti quando l'azione risulta favorevole nei riguardi della verifica che si sta svolgendo.*

*Il gruppo 4 è da considerarsi esclusivamente per le verifiche a fessurazione. I valori indicati fra parentesi si assumeranno pari a: (0,6) per impalcati con 2 binari caricati e (0,4) per impalcati con tre o più binari caricati.”*

Le azioni agenti sulla struttura considerate vengono di seguito richiamate con il loro nome:

|  |                |
|--|----------------|
| PESI PROPRI  | G1             |
| PERMANENTI NON STRUTTURALI   | G2             |
| BALLAST  | G2b            |
| INVILUPPO DELLE SPINTE PERMANENTI  | ENV-SP         |
| TRAFFICO FERROVIARIO COMPRESIVO<br>DI SPINTE ACCIDENTALI – gr.3                    | ENV-TRAFF gr.3 |
| TRAFFICO FERROVIARIO COMPRESIVO<br>DI SPINTE ACCIDENTALI – gr.4 (PER FESSURAZIONE) | ENV-TRAFF gr.4 |
| TERMICA  | ENV-TERMICA    |
| RITIRO   | ENV-RITIRO     |

#### 6.4.1 Combinazione fondamentale SLU STRUTTURALE (A1+M1)

|                | STR.SLU-1 | STR.SLU-2 | STR.SLU-3 | STR.SLU-4 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| G1             | 1.35      | 1.35      | 1         | 1         |
| G2             | 1.35      | 1.35      | 1         | 1         |
| G2b            | 1.5       | 1.5       | 1         | 1         |
| ENV-SP         | 1.35      | 1.35      | 1.35      | 1.35      |
| ENV-TRAFF gr.3 | 1.45      | 1.16      | 1.45      | 1.16      |
| ENV-TRAFF gr.4 | 0         | 0         | 0         | 0         |
| ENV-TERMICA    | 0.9       | 1.5       | 0.9       | 1.5       |
| ENV-RITIRO     | 1         | 1         | 1         | 1         |

#### 6.4.2 Combinazione fondamentale SLU GEOTECNICA (A2+M2)

|                | STR.SLU-1 | STR.SLU-2 | STR.SLU-3 | STR.SLU-4 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| G1             | 1         | 1         | 1         | 1         |
| G2             | 1         | 1         | 1         | 1         |
| G2b            | 1.3       | 1.3       | 1         | 1         |
| ENV-SP         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| ENV-TRAFF gr.3 | 1.25      | 1         | 1.25      | 1         |
| ENV-TRAFF gr.4 | 0         | 0         | 0         | 0         |

|             |      |     |      |     |
|-------------|------|-----|------|-----|
| ENV-TERMICA | 0.78 | 1.3 | 0.78 | 1.3 |
| ENV-RITIRO  | 1    | 1   | 1    | 1   |

**6.4.3 Combinazione SLE rara**

|                | SLE.RARA-1 | SLE.RARA-2 | SLE.RARA FESS |
|----------------|------------|------------|---------------|
| G1             | 1          | 1          | 1             |
| G2             | 1          | 1          | 1             |
| G2b            | 1          | 1          | 1             |
| ENV-SP         | 1          | 1          | 1             |
| ENV-TRAFF gr.3 | 1          | 0.8        | 0             |
| ENV-TRAFF gr.4 | 0          | 0          | 1             |
| ENV-TERMICA    | 0.6        | 1          | 1             |
| ENV-RITIRO     | 1          | 1          | 1             |

**6.4.4 Combinazione SLE frequente**

|                | SLE.FREQ-1 | SLE.FREQ-2 |
|----------------|------------|------------|
| G1             | 1          | 1          |
| G2             | 1          | 1          |
| G2b            | 1          | 1          |
| ENV-SP         | 1          | 1          |
| ENV-TRAFF gr.3 | 0.6        | 0          |
| ENV-TRAFF gr.4 | 0          | 0          |
| ENV-TERMICA    | 0.5        | 0.6        |
| ENV-RITIRO     | 1          | 1          |

**6.4.5 Combinazione SLE quasi permanente**

|                | SLE.Q.P-1 |
|----------------|-----------|
| G1             | 1         |
| G2             | 1         |
| G2b            | 1         |
| ENV-SP         | 1         |
| ENV-TRAFF gr.3 | 0         |
| ENV-TRAFF gr.4 | 0         |

|             |     |
|-------------|-----|
| ENV-TERMICA | 0.5 |
| ENV-RITIRO  | 1   |

**6.4.6 Combinazione SISMICA**

|                | ENV-SISMICA |
|----------------|-------------|
| G1             | 1           |
| G2             | 1           |
| G2b            | 1           |
| ENV-SP         | 1           |
| ENV-TRAFF gr.3 | 0.2         |
| ENV-TRAFF gr.4 | 0           |
| ENV-TERMICA    | 0.5         |
| ENV-RITIRO     | 1           |
| ENV-SISMA      | 1           |

Di ognuna delle seguenti combinazioni, viene effettuato un involuppo.



Consorzio IricAV Due

**ATI bonifica**

## **Linea AV/AC VERONA – PADOVA**

**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

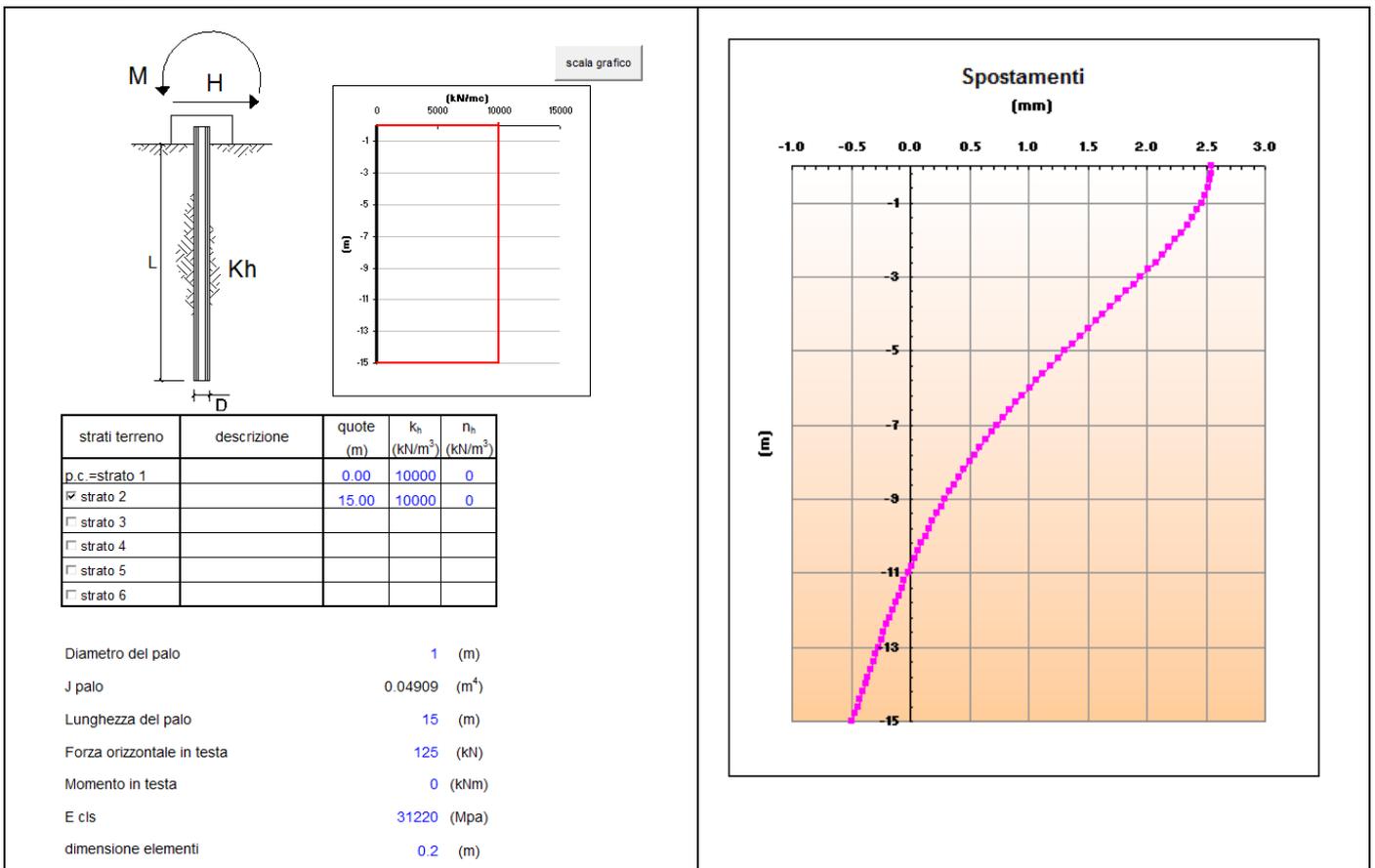
Pag 35 di 82

### 6.5 Modello di calcolo

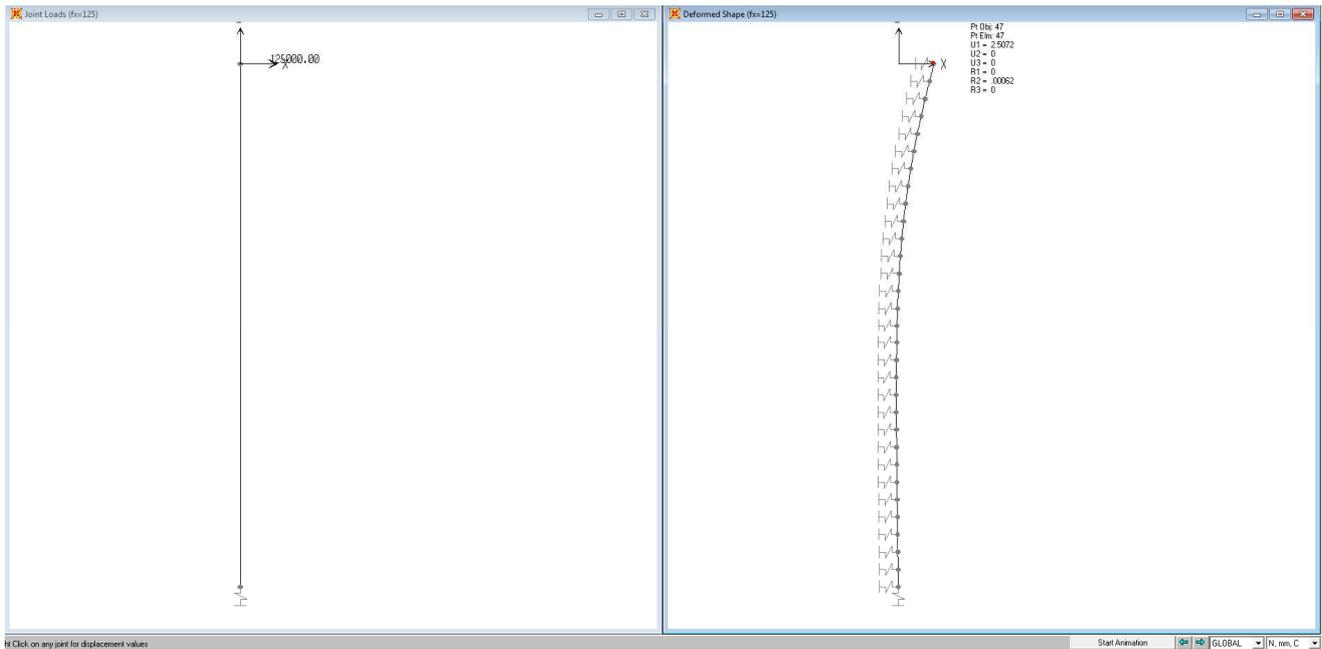
Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di un telaio su pali, ai quali è stata assegnata una rigidezza orizzontale distribuita ed una verticale concentrata alla base del palo.

Per la costante elastica orizzontale del terreno, si è adottato, in favore di sicurezza, un valore di  $k_h=10'000$  kN/mc.

Considerando il palo incastrato in testa, con una forza orizzontale di 125 kN, si ha uno spostamento massimo di 2.5mm, per una rigidezza concentrata di  $125 \cdot 1000 / 2.5 = 50'000$  kN/m



Nel SAP, è stata modellato un palo lungo 15m, con una molla lineica orizzontale costante di 25'000 kN/mq, con la quale si ottiene lo stesso spostamento orizzontale di 2.5mm



Per la rigidezza verticale applicata alla base del palo, si è assunto un valore di 50'000 kN/m.

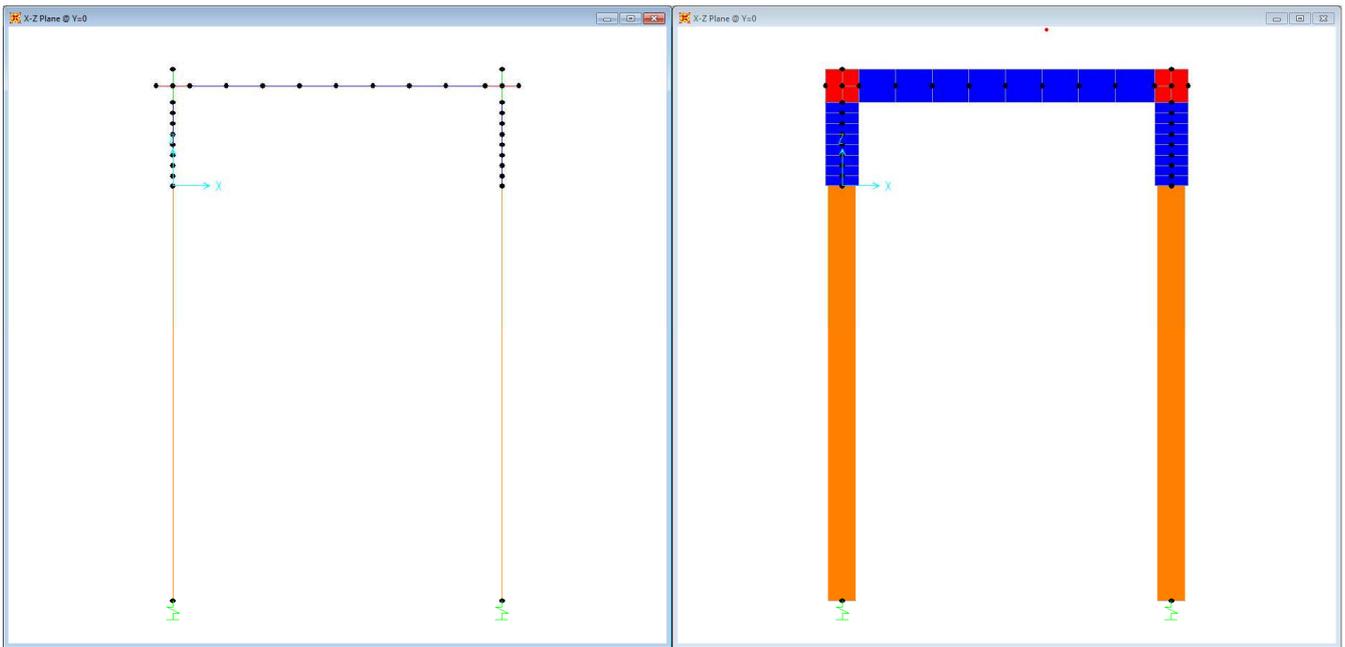


Figura 13 – Modello di calcolo



Figura 14 – Numerazione dei nodi e delle aste



Consorzio IricAV Due

**ATI bonifica**

## **Linea AV/AC VERONA – PADOVA**

**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

Pag 39 di 82

|  |  |              |
|--|--|--------------|
| <br><br><b>ATI bonifica</b> | <b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>                                     |              |
|  | <b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>                      |              |
|  | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br>AL Km 0+766,66  |              |
|  | PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.<br>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A | Pag 40 di 82 |

## 6.6 Verifiche

Le verifiche vengono eseguite considerando i seguenti Stati Limite:

- STATI LIMITE ULTIMI
  - Resistenza per flessione e/o pressoflessione delle membrature
  - Resistenza per taglio delle membrature
- STATI LIMITE DI ESERCIZIO
  - Stato limite di apertura delle fessure
  - Tensioni massime in esercizio

Le verifiche di resistenza vengono condotte a presso-flessione semplice, considerando il momento flettente massimo e lo sforzo normale congruente associato.

Per le verifiche di tutte le sezioni, viene assunto un copriferro minimo di 4cm, e il conseguente copriferro di calcolo funzione del diametro dell'armatura.

Nel seguito vengono riportati i diagrammi di sollecitazione relativi alle combinazioni di carico considerate.

### 6.6.1 Stato limite ultimo – resistenza per flessione e/o pressoflessione

#### 4.1.2.1.2.4 Analisi della sezione

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, rappresentata in Fig. 4.1.3 assieme ai diagrammi di deformazione e di sforzo così come dedotti dalle ipotesi e dai modelli  $\sigma$ - $\epsilon$  di cui nei punti precedenti, la verifica di resistenza (SLU) si esegue controllando che:

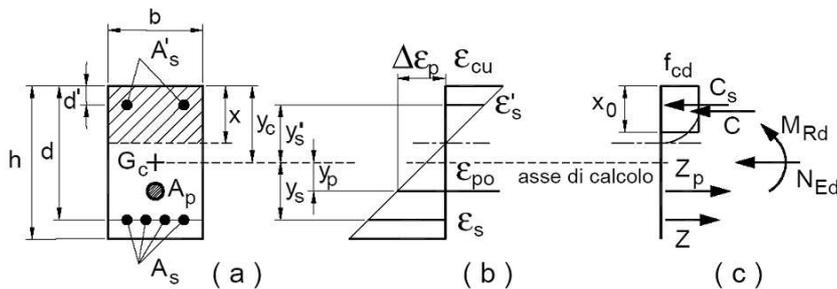
$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad (4.1.9)$$

dove

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.



### 6.6.2 Stato limite di apertura delle fessure

Le verifiche a fessurazione vengono condotte con riferimento al punto 4.1.2.2.4 delle NTC, tenendo presenti le integrazioni richieste dalla Istruzione ferroviaria al punto 1.8.3.2.4 (di seguito richiamate). L'apertura convenzionale delle fessure viene calcolata con la combinazione SLE RARA.

Le condizioni di ogni sezione di calcolo sono

- Armatura poco sensibile
- Ambiente normale

#### Stato limite di apertura delle fessure

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per tutte le zone non ispezionabili;
- $\delta_f \leq w_2$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 14.1.2008.

Il valore limite di apertura delle fessure vale pertanto (si considera tutto a contatto con il terreno)

- Armature esterne  $w_{lim} = w_1 = 0.200$  mm
- Armature interne  $w_{lim} = w_2 = 0.200$  mm

### 6.6.3 Tensioni massime in esercizio

Le limitazioni tensionali imposte dall'Istruzione Ferroviaria al punto 1.8.3.2.1, sono

#### Resistenza dei materiali

|  |          |     |         |
|--|----------|-----|---------|
| Classe di resistenza di calcolo          | $f_{ck}$ | 25  | 28 MPa  |
| tensione di snervamento acciaio per c.a. | $f_{yk}$ | 450 | 450 MPa |

#### Valori limite delle tensioni

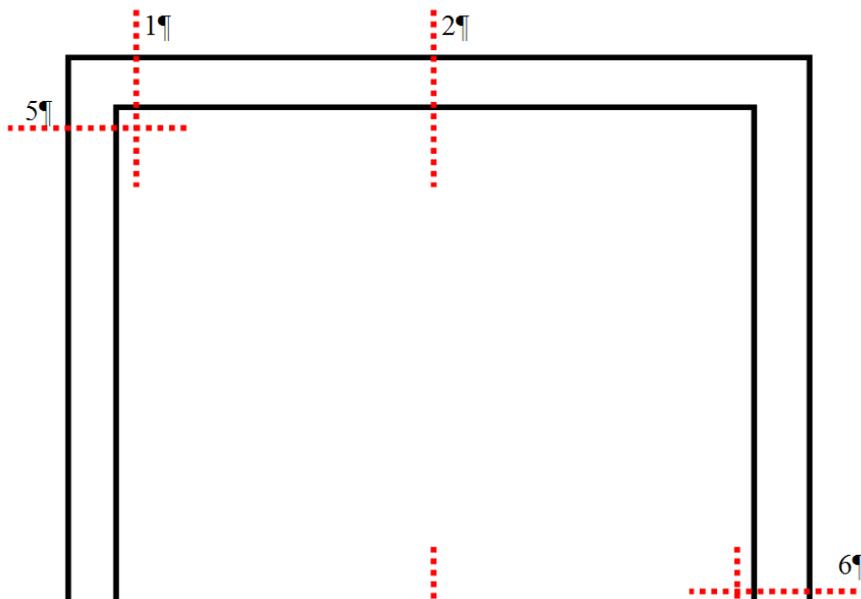
##### Tensioni di compressione nel calcestruzzo

|                                   |                     |       |           |
|-----------------------------------|---------------------|-------|-----------|
| - per combinazione di carico rara | $0.55 \cdot f_{ck}$ | 13.75 | 15.40 MPa |
| - per combinazione di carico q.p. | $0.40 \cdot f_{ck}$ | 10.00 | 11.20 MPa |

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

|                                   |                     |       |           |
|-----------------------------------|---------------------|-------|-----------|
| - per combinazione di carico rara | $0.75 \cdot f_{yk}$ | 337.5 | 337.5 MPa |
|-----------------------------------|---------------------|-------|-----------|

### 6.6.4 Sezioni di verifica





Consorzio IricAV Due

**ATI bonifica**

## **Linea AV/AC VERONA – PADOVA**

**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

Pag 43 di 82

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

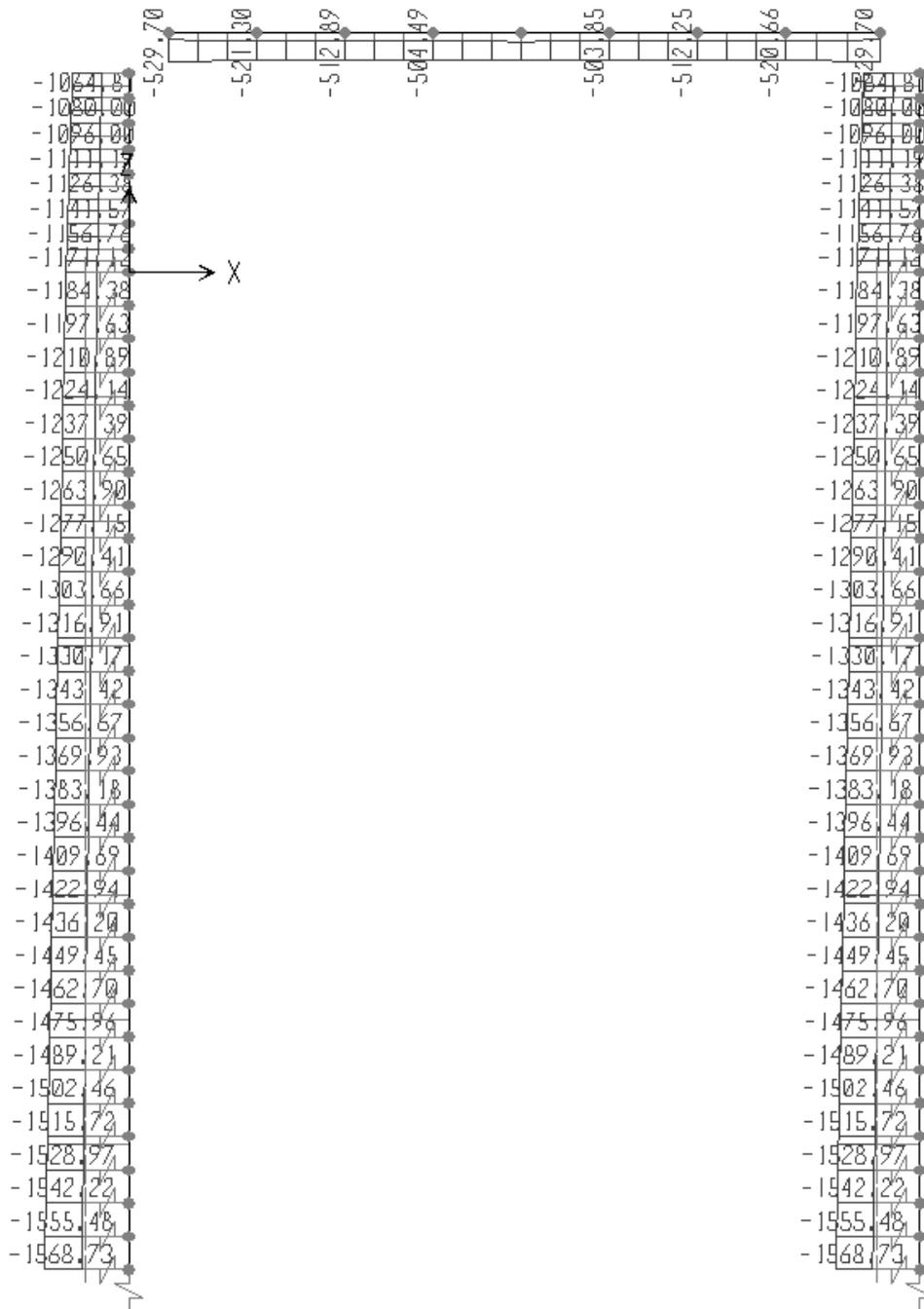
Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

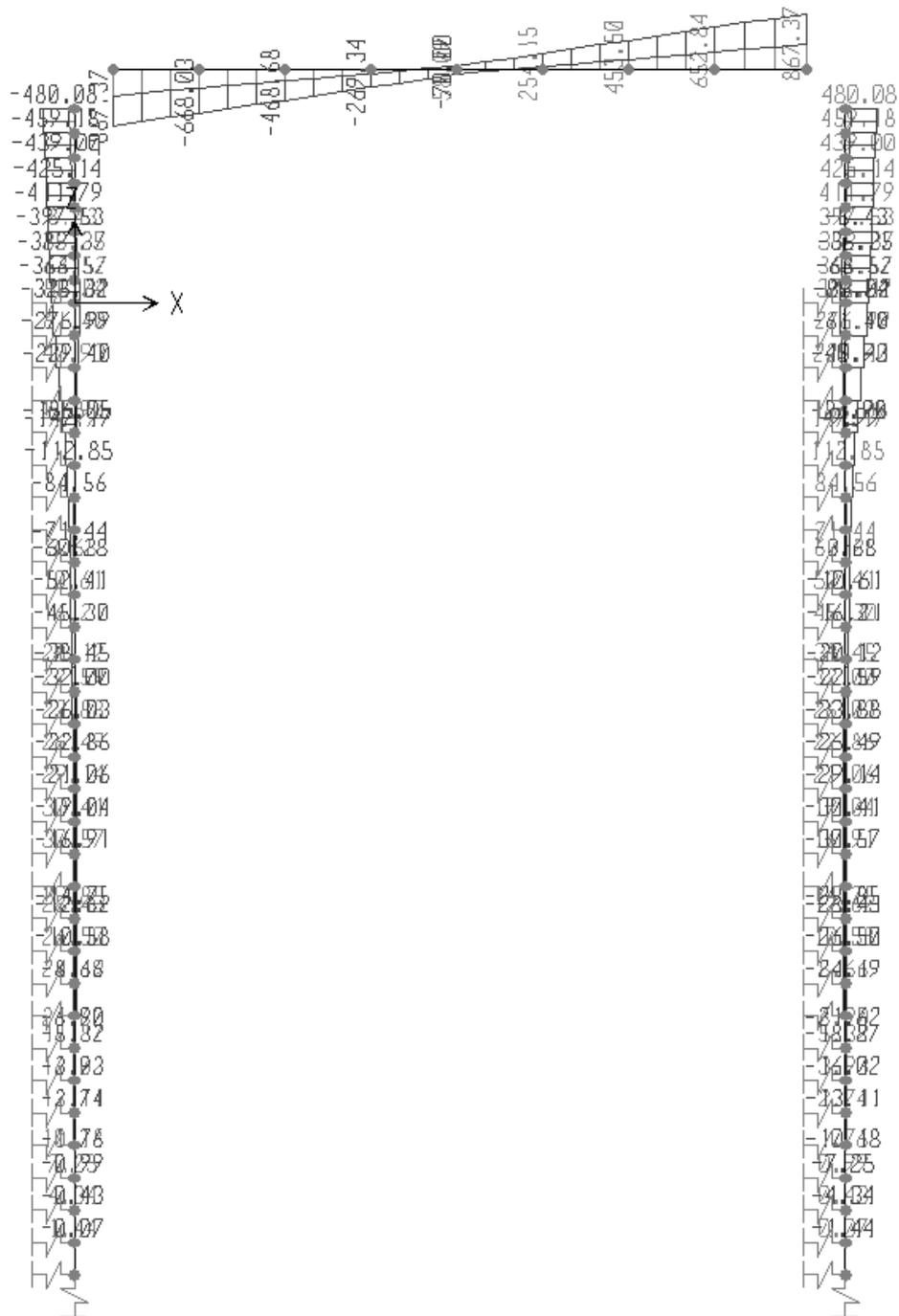
Pag 44 di 82

## 6.6.5 Sollecitazioni di calcolo



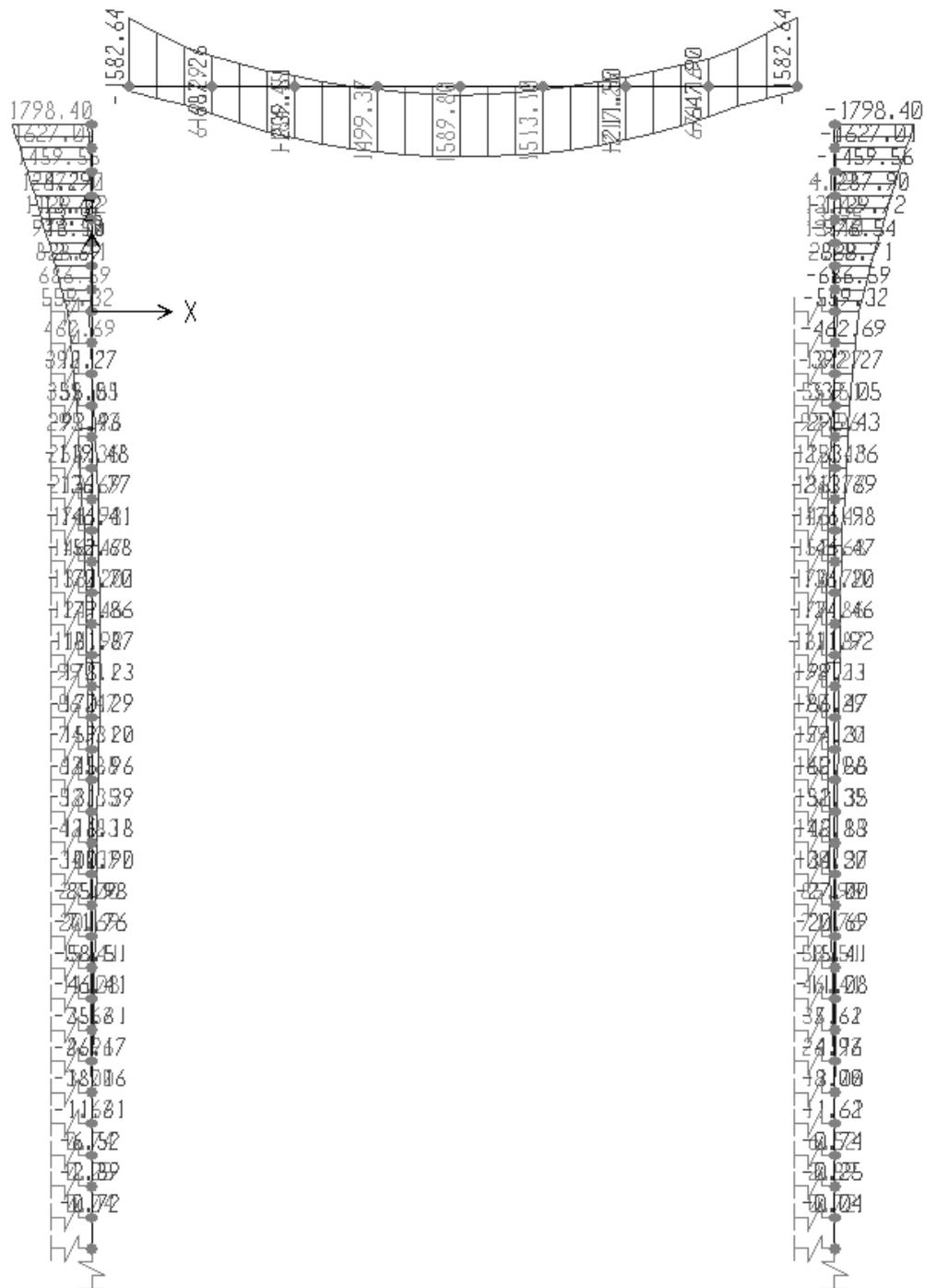
|   |  |                     |
|---|--|---------------------|
|  <p>Consorzio IricAV Due</p><br><p><b>ATI bonifica</b></p> | <p><b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b></p> <p><b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b></p> |                     |
|   | <p>Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br/>AL Km 0+766,66</p>                      |                     |
|   | <p>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.</p> <p>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</p>                  | <p>Pag 45 di 82</p> |

**Figura 15 – Sforzo normale – comb. ENV - STR.SLU**



|  |  |                     |
|--|--|---------------------|
|  <p>Consorzio IricAV Due</p><br> | <p><b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b></p> <p><b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b></p> |                     |
|  | <p>Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br/>AL Km 0+766,66</p>                      |                     |
|  | <p>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.</p> <p>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</p>                  | <p>Pag 47 di 82</p> |

**Figura 16 – Taglio – comb. ENV - STR.SLU**



|   |  |                     |
|---|--|---------------------|
|  <p>Consorzio IricAV Due</p><br><p><b>ATI bonifica</b></p> | <p><b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b></p> <p><b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b></p> |                     |
|   | <p>Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br/>AL Km 0+766,66</p>                      |                     |
|   | <p>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.</p> <p>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</p>                  | <p>Pag 49 di 82</p> |

**Figura 17 – Momento flettente – comb. ENV - STR.SLU**

### 6.6.6 Verifica nodo superiore

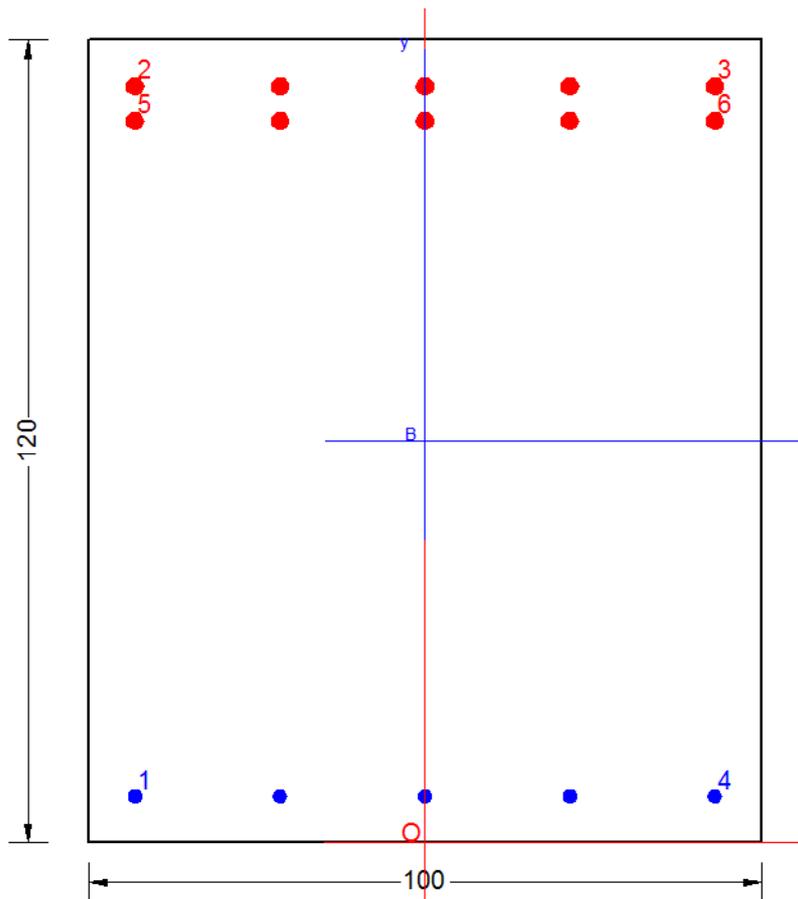
Le sollecitazioni di progetto sono le seguenti

|    |     | V2  | M3     | V3 | M2 | T | P    |            |
|----|-----|-----|--------|----|----|---|------|------------|
| M3 | min | 470 | -692   | 0  | 0  | 0 | -240 | SLEp.3     |
| M3 | min | 470 | -807   | 0  | 0  | 0 | -265 | SLEqp.3    |
| M3 | min | 534 | -981   | 0  | 0  | 0 | -310 | SLEfreq.45 |
| M3 | min | 555 | -1 154 | 0  | 0  | 0 | -349 | SLEaraf.45 |
| M3 | min | 555 | -1 154 | 0  | 0  | 0 | -349 | SLEara.109 |
| M3 | min | 577 | -1 282 | 0  | 0  | 0 | -379 | SLUgeo.237 |
| M3 | min | 600 | -1 304 | 0  | 0  | 0 | -385 | SLUgeo.109 |
| M3 | min | 598 | -1 418 | 0  | 0  | 0 | -436 | SLUstr.237 |
| M3 | min | 770 | -1 583 | 0  | 0  | 0 | -481 | SLUstr.109 |
| M3 | min | 732 | -1 827 | 0  | 0  | 0 | -498 | SIS.45     |

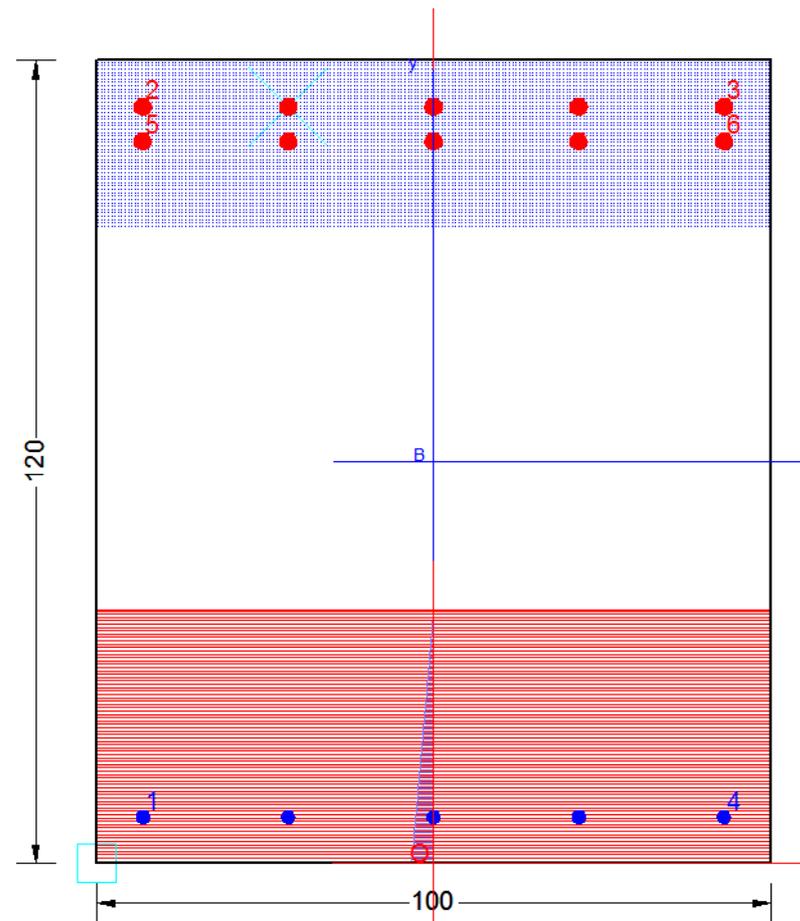
**Tabella 1: soletta superiore nodo**

|    |     | V2  | M3     | V3 | M2 | T | P    |            |
|----|-----|-----|--------|----|----|---|------|------------|
| M3 | min | 198 | -841   | 0  | 0  | 0 | -574 | SLEp.3     |
| M3 | min | 174 | -942   | 0  | 0  | 0 | -574 | SLEqp.3    |
| M3 | min | 181 | -1 140 | 0  | 0  | 0 | -682 | SLEfreq.45 |
| M3 | min | 159 | -1 308 | 0  | 0  | 0 | -718 | SLEaraf.45 |
| M3 | min | 159 | -1 308 | 0  | 0  | 0 | -718 | SLEara.109 |
| M3 | min | 146 | -1 435 | 0  | 0  | 0 | -754 | SLUgeo.237 |
| M3 | min | 152 | -1 467 | 0  | 0  | 0 | -782 | SLUgeo.109 |
| M3 | min | 166 | -1 558 | 0  | 0  | 0 | -787 | SLUstr.237 |
| M3 | min | 211 | -1 798 | 0  | 0  | 0 | -998 | SLUstr.109 |
| M3 | min | 441 | -1 955 | 0  | 0  | 0 | -867 | SIS.45     |

**Tabella 2: piedritto nodo superiore**



| Legenda barre  | Dati sezione solo conglom.   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">●</span> 5 Ø 20</li> <li><span style="color: red;">●</span> 10 Ø 26</li> </ul> | ASSI X,Y Rifer.Sezione<br>Area = 12000 cm <sup>2</sup><br>X baric. = 0,000 cm<br>Y baric. = 60,000 cm<br>SX = 720000 cm <sup>3</sup><br>SY = 0 cm <sup>3</sup><br>JX = 57600000 cm <sup>4</sup><br>JY = 10000000 cm <sup>4</sup> |
| Aftot = 68.80<br>( 0.57 %)   |  |



### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

|          |  |
|----------|--|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| N        | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |
| Mx       | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia   |
| My       | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia   |
| N ult    | Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx ult   | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My ult   | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa  | Area armature [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa                               |

| N°Comb | Ver | N      | Mx       | My   | N ult  | Mx ult   | My ult | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|--------|----------|------|--------|----------|--------|----------|---------|
| 1      | S   | 498.00 | -1847.00 | 0.00 | 497.95 | -2426.89 | 0.00   | 1.311    | ----    |

2 S 867.00 -1955.00 0.00 867.29 -2597.70 0.00 1.324 ----

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

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

| N°Comb. | N      | Mx       | My   |
|---------|--------|----------|------|
| 1       | 349.00 | -1154.00 | 0.00 |
| 2       | 718.00 | -1308.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx                 | My          |
|---------|--------|--------------------|-------------|
| 1       | 349.00 | -1154.00 (-866.35) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 718.00 | -1308.00 (-915.60) | 0.00 (0.00) |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 6.50   | -50.0  | 0.0    | -195.3 | -21.6  | 113.1  | 2500    | 53.1    | 5.2     | 1.00   |
| 2      | S   | 7.55   | -50.0  | 0.0    | -195.2 | 21.6   | 113.1  | 2500    | 53.1    | 5.2     | 1.00   |

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

## Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

Pag 54 di 82

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 6.50   | -50.0  | 0.0    | -195.3 | -21.6  | 113.1  | 2500    | 53.1    | 5.2     | 1.00   |
| 2      | S   | 7.55   | -50.0  | 0.0    | -195.2 | 21.6   | 113.1  | 2500    | 53.1    | 5.2     | 1.00   |

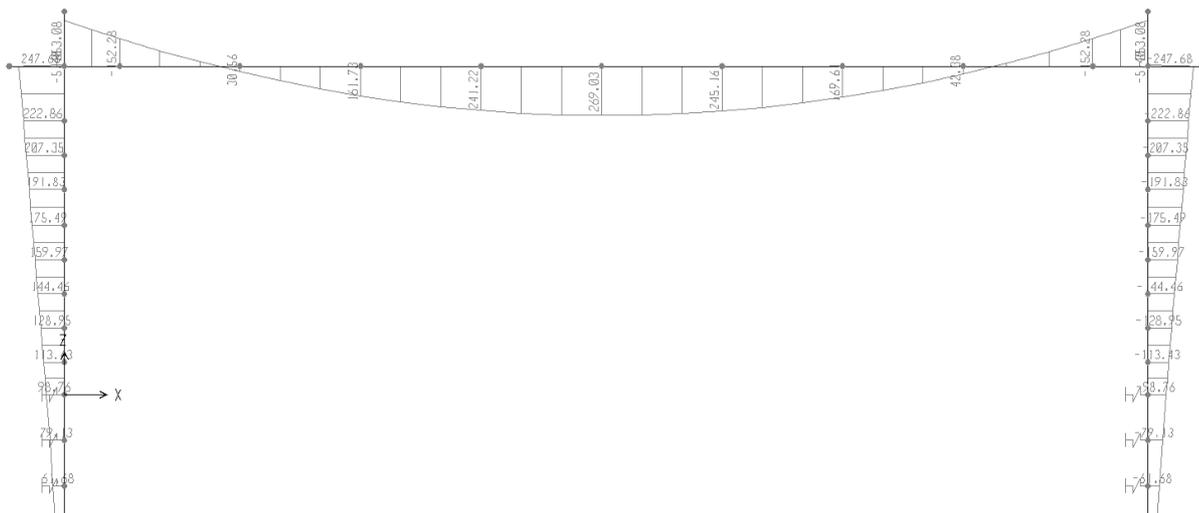
### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

|          |  |
|----------|--|
| Ver.     | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$        |
| S1       | Esito della verifica   |
| S2       | Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  |
| k2       | Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata   |
| k3       | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata   |
| Ø        | = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica   |
| Cf       | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$  |
| Psi      | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  |
| e sm     | = $1 - \text{Beta}12 * (S_{sr} / S_s)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm} / S_2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess} / M)^2$ [B.6.6 DM96] |
| srm      | Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * S_s / E_s$ è tra parentesi                  |
| wk       | Distanza media tra le fessure [mm]   |
| MX fess. | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e\ sm * srm$ . Valore limite tra parentesi                                 |
| MY fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  |
|          | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]  |

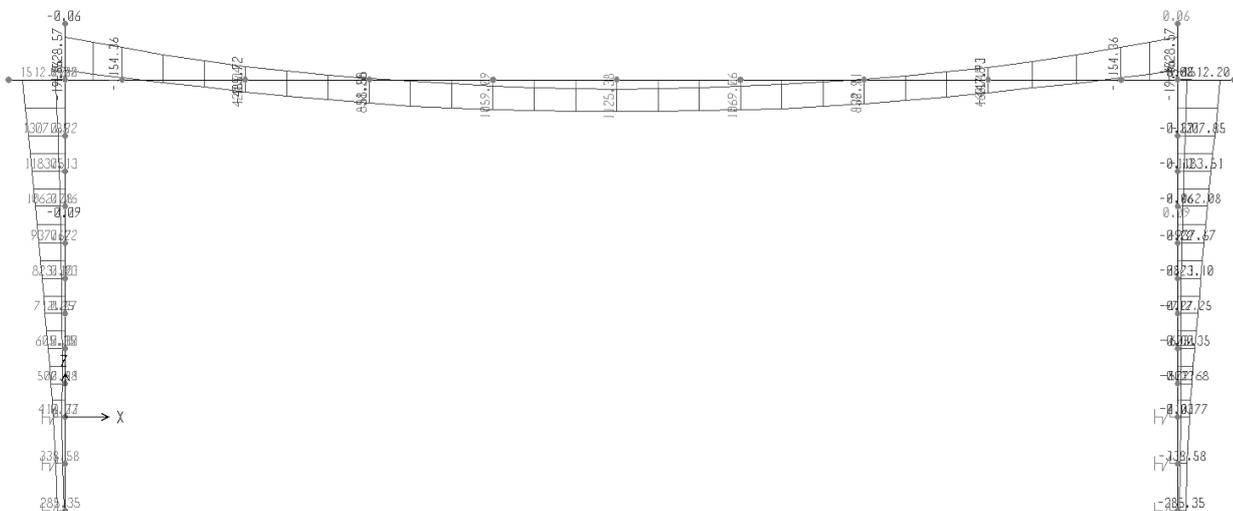
| Comb. | Ver | S1   | S2 | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|----|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -3.7 | 0  | 0.125 | 26 | 56.0 | 0.436 | 0.00043 (0.00039) | 184 | 0.133 (0.20) | -866.35 | 0.00    |
| 2     | S   | -3.9 | 0  | 0.125 | 26 | 56.0 | 0.510 | 0.00050 (0.00039) | 184 | 0.155 (0.20) | -915.60 | 0.00    |

**6.6.7 Verifica soletta in mezzeria**

Il momento in mezzeria prodotto dal solo peso proprio con lo schema a telaio è di 270 kN. Quello prodotto invece con lo schema di trave in semplice appoggio è  $30 \cdot 11^2 / 8 = 450$  kN. Questo vuol dire che il momento nella combinazione SLE rara di 1150 kNm va aumentato di 450-270, per arrivare ad un totale di  $\approx 1300$  kNm. Tale momento è simile a quello nel nodo, pertanto si adotta la stessa armatura di forza (10 $\phi$ 26), maggiore di quella necessaria per la prima fase.



**Figura 18 – Momento flettente – solo peso proprio**



|   |  |                     |
|---|--|---------------------|
|  <p>Consorzio IricAV Due</p><br><p><b>ATI bonifica</b></p> | <p><b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b></p> <p><b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b></p> |                     |
|   | <p>Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO<br/>AL Km 0+766,66</p>                      |                     |
|   | <p>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.</p> <p>IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A</p>                  | <p>Pag 56 di 82</p> |

**Figura 19 – Momento flettente – comb. ENV SLE rara**

### 6.6.8 Verifica a taglio

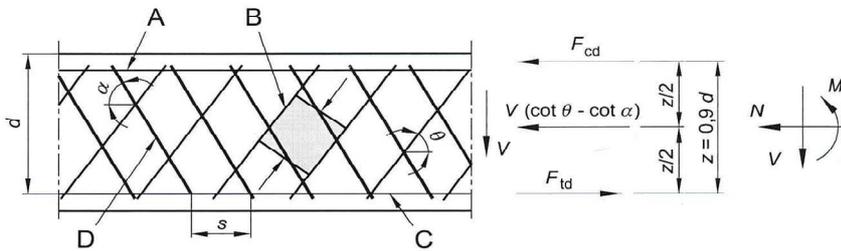
La verifica è svolta con riferimento al massimo valore del taglio che si ha nella sezione di estremità della soletta superiore.

#### Verifica a taglio in accordo a EC2-2

| Materiali                       |       |                         |   |
|---------------------------------|-------|-------------------------|---|
| <u>Calcestruzzo</u>             |       |                         |   |
| fck=                            | 28    | MPa                     |   |
| $\gamma_c$ =                    | 1.50  |                         |   |
| fcm=                            | 36    | MPa                     |   |
| $\alpha_{cc}$ =                 | 0.85  |                         | coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1 |
| fcd=                            | 16    | MPa                     |   |
| fctm=                           | 2.77  | MPa                     |   |
| fctk <sub>0.05</sub> =          | 1.94  | MPa                     |   |
| fctk <sub>0.95</sub> =          | 3.60  | MPa                     |   |
| $\alpha_{ct}$ =                 | 1.00  |                         | coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1 |
| fctd=                           | 1.29  | MPa                     |   |
| <u>Acciaio c.a.</u>             |       |                         |   |
| fyk=                            | 450   | MPa                     |   |
| $\gamma_s$ =                    | 1.15  |                         |   |
| fyd=                            | 391   | MPa                     |   |
| <u>Sollecitazioni di Taglio</u> |       |                         |   |
|                                 |       | $\gamma$                |   |
| Gk                              | 0     | x1.00=                  | 0 kN  |
| Pk                              | 0     | x1.00=                  | 0 kN  |
| Qk                              | 0     | x1.00=                  | 0 kN  |
| Aed                             | 867   | x1.00=                  | 867 kN  |
|                                 |       | <b>V<sub>Ed</sub> =</b> | <b>867 kN</b>   |
| Nsd=                            | 0     | KN                      | sforzo normale  |
| bw =                            | 1.000 | m                       | larghezza (6.16)  |
| h=                              | 1.200 | m                       | altezza totale  |
| c=                              | 0.070 | m                       | copriferro  |
| d =                             | 1.130 | m                       | altezza utile   |
| Ac=                             | 1.20  | m <sup>2</sup>          | area  |

elementi CA e CAP armati a taglio

- A Corrente compresso
- B Puntoni
- C Corrente teso
- D Armatura a taglio



Resistenza lato acciaio (staffe)

|                          |       |       |   |        |   |
|--------------------------|-------|-------|---|--------|---|
| $\phi_w =$               | 12    | mm    | diametro staffa   |        |   |
| $n =$                    | 2.50  |       | numero braccia  |        |   |
| $A_{sw} =$               | 2.83  | cmq   |   |        |   |
| $z =$                    | 1.02  | m     | $= 0.9 \cdot d$   |        |   |
| $\sin \alpha =$          | 1     |       | $\alpha$ angolo tra le staffe e l'asse della trave ( $\alpha = 90^\circ$ per staffe verticali)  |        |   |
| $\rho_w =$               | 0.14  | %     | $= A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$                                     | 0.09 % | $= (0.08 \cdot \text{radq}(f_{ck})) / f_{yk} \cdot 100$ |
| $s =$                    | 0.2   | m     | $=$ passo staffe $\leq$   | 0.85 m | $= 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$                |
| $\theta =$               | 21.8  | °     | $= \arcsin(\text{radq}(A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_w \cdot s \cdot a_{cw} \cdot n \cdot f_{cd}))$ |        |   |
|                          |       |       | inclinazione puntone compresso, variabile tra $45^\circ$ e $21.8^\circ$                         |        |   |
| $\tan \theta =$          | 0.40  |       | valore tra 1 (for $\theta = 45^\circ$ ) e 0.4   |        |   |
| $\cot \theta =$          | 2.50  |       | valore tra 1 (for $\theta = 45^\circ$ ) and 2.5   |        |   |
| $\rho_{w, \max} =$       | 0.55  | =     | $A_{sw, \max} \cdot f_{yd} / (b_w \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} =$   | 4.23   | <b>verifica soddisfatta</b>                             |
| $A_{sw} / s, \text{ins}$ | 14.14 | cmq/m | area staffe inserita  |        |   |
| $V_{Rd, s} =$            | 1407  | kN    | $= A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$  |        |   |

Resistenza lato calcestruzzo (puntone compresso inclinato)

|                  |       |    |  |                 |                             |
|------------------|-------|----|--|-----------------|-----------------------------|
| $v =$            | 0.533 |    | $= 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$ (from EN 6.6N)                                      |                 |                             |
| $\sigma_{cp} =$  | 0.00  |    | $= N_{sd} / A_c$   |                 |                             |
| $\alpha_{cw} =$  | 1.00  |    |  |                 |                             |
| $V_{Rd, \max} =$ | 2964  | kN | $= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$ |                 |                             |
| $\gamma_{Bd1} =$ | 1.00  |    | coefficiente di sicurezza ( EN1998-2-5.6.2.b)  |                 |                             |
| $V_{Rd} =$       | 1407  | kN | $= \min(V_{Rd, s}, V_{Rd, \max}) / \gamma_{Bd1}$                                     |                 |                             |
| $V_{Ed} =$       | 867   |    | minore o uguale di   | $V_{Rd} = 1407$ | <b>verifica soddisfatta</b> |

La resistenza del solo calcestruzzo non è sufficiente. E' necessario armare a taglio. Si inseriscono spille  $\phi 12/40/20$ , con 40 passo fuori dal piano.

### 6.6.9 Verifica palo

|    |     | V2  | M3   | V3 | M2 | T | P      |            |
|----|-----|-----|------|----|----|---|--------|------------|
| M3 | min | 124 | -285 | 0  | 0  | 0 | -664   | SLEp.3     |
| M3 | min | 100 | -314 | 0  | 0  | 0 | -664   | SLEqp.3    |
| M3 | min | 106 | -365 | 0  | 0  | 0 | -772   | SLEfreq.45 |
| M3 | min | 84  | -411 | 0  | 0  | 0 | -808   | SLEaraf.45 |
| M3 | min | 84  | -411 | 0  | 0  | 0 | -808   | SLEara.109 |
| M3 | min | 72  | -445 | 0  | 0  | 0 | -844   | SLUgeo.237 |
| M3 | min | 78  | -459 | 0  | 0  | 0 | -872   | SLUgeo.109 |
| M3 | min | 66  | -452 | 0  | 0  | 0 | -877   | SLUstr.237 |
| M3 | min | 110 | -559 | 0  | 0  | 0 | -1 119 | SLUstr.109 |
| M3 | min | 395 | -443 | 0  | 0  | 0 | -957   | SIS.45     |

Tabella 3: piedritto nodo inferiore (M3min, A1+M1)

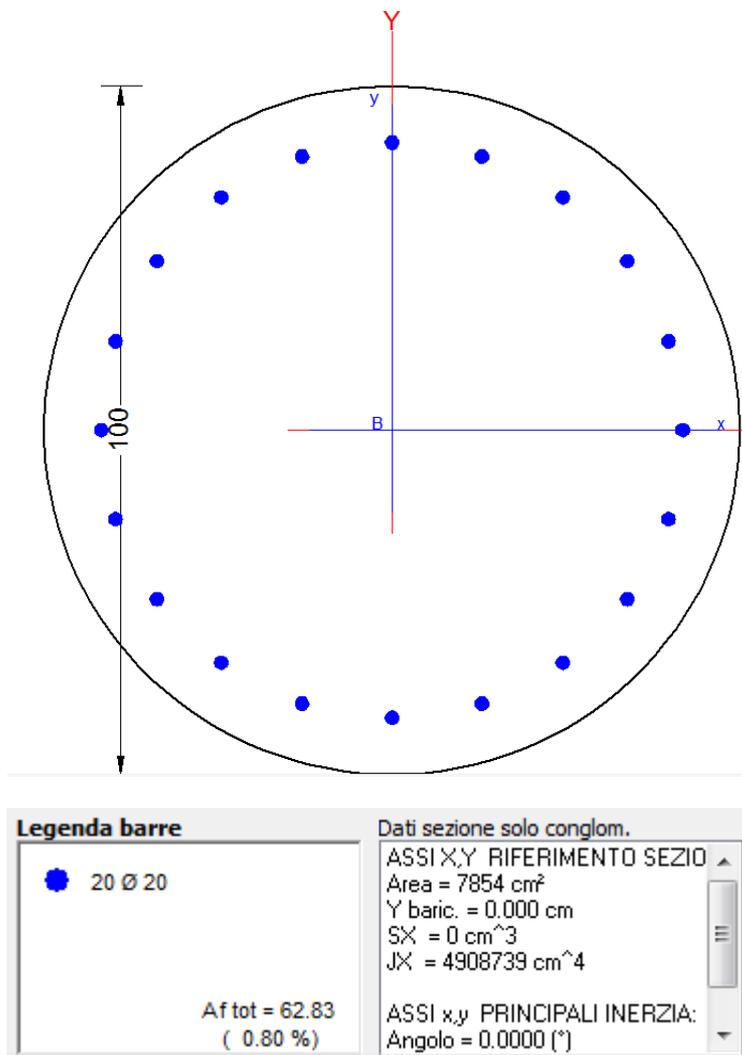
|    |     | V2  | M3   | V3 | M2 | T | P      |            |
|----|-----|-----|------|----|----|---|--------|------------|
| M3 | min | 122 | -270 | 0  | 0  | 0 | -666   | SLEp.3     |
| M3 | min | 98  | -299 | 0  | 0  | 0 | -666   | SLEqp.3    |
| M3 | min | 106 | -350 | 0  | 0  | 0 | -775   | SLEfreq.45 |
| M3 | min | 84  | -396 | 0  | 0  | 0 | -811   | SLEaraf.45 |
| M3 | min | 84  | -396 | 0  | 0  | 0 | -811   | SLEara.109 |
| M3 | min | 73  | -430 | 0  | 0  | 0 | -847   | SLUgeo.237 |
| M3 | min | 79  | -444 | 0  | 0  | 0 | -875   | SLUgeo.109 |
| M3 | min | 66  | -433 | 0  | 0  | 0 | -881   | SLUstr.237 |
| M3 | min | 111 | -539 | 0  | 0  | 0 | -1 123 | SLUstr.109 |
| M3 | min | 393 | -428 | 0  | 0  | 0 | -959   | SIS.45     |

Tabella 4: piedritto nodo inferiore (M3min A2+M2)

|    |     | V2  | M3   | V3 | M2 | T | P      |            |
|----|-----|-----|------|----|----|---|--------|------------|
| V2 | max | 360 | -319 | 0  | 0  | 0 | -1 066 | SLUstr.109 |
| V2 | max | 170 | -206 | 0  | 0  | 0 | -664   | SLEqp.3    |
| V2 | max | 219 | -248 | 0  | 0  | 0 | -744   | SLEfreq.45 |
| V2 | max | 260 | -233 | 0  | 0  | 0 | -771   | SLEaraf.45 |
| V2 | max | 260 | -233 | 0  | 0  | 0 | -771   | SLEara.109 |
| V2 | max | 291 | -230 | 0  | 0  | 0 | -798   | SLUgeo.237 |
| V2 | max | 297 | -244 | 0  | 0  | 0 | -826   | SLUgeo.109 |
| V2 | max | 315 | -212 | 0  | 0  | 0 | -824   | SLUstr.237 |
| V2 | max | 360 | -319 | 0  | 0  | 0 | -1 066 | SLUstr.109 |
| V2 | max | 479 | -331 | 0  | 0  | 0 | -948   | SIS.45     |

Tabella 5: piedritto nodo inferiore (V2max, A1+M1)

Le sollecitazioni (a m/l) ottenute con A2+M2 sono molto simili a quelli calcolate con A1+M1. Tali sollecitazioni a m/l vengono moltiplicate per l'interasse dei pali pari a 1.1m



**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

NOME SEZIONE: paloF1000

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Descrizione Sezione:          | Stati Limite Ultimi     |
| Metodo di calcolo resistenza: | N.T.C.                  |
| Normativa di riferimento:     | Sezione predefinita     |
| Tipologia sezione:            | Circolare               |
| Forma della sezione:          | A Sforzo Norm. costante |
| Percorso sollecitazione:      |                         |

Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|   |   |                     |     |
|---|---|---------------------|-----|
| CALCESTRUZZO -                            | Classe:   | C25/30              |     |
|   | Resistenza compress. di calcolo fcd:                | 14.16               | MPa |
|   | Resistenza compress. ridotta fcd':                  | 7.080               | MPa |
|   | Deform. unitaria max resistenza ec2:                | 0.0020              |     |
|   | Deformazione unitaria ultima ecu:                   | 0.0035              |     |
|   | Diagramma tensioni-deformaz.:                       | Parabola-Rettangolo |     |
|   | Modulo Elastico Normale Ec:                         | 31475.0             | MPa |
|   | Resis. media a trazione fctm:                       | 2.560               | MPa |
|   | Coeff.Omogen. S.L.E.:                               | 15.00               |     |
|   | Sc limite S.L.E. comb. Rare:                        | 12.500              | MPa |
|   | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:                   | 12.500              | MPa |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200   | mm                  |     |
| ACCIAIO -                                 | Tipo:   | B450C               |     |
|   | Resist. caratt. a snervamento fyk:                  | 450.00              | MPa |
|   | Resist. caratt. a rottura ftk:                      | 450.00              | MPa |
|   | Resist. a snerv. di calcolo fyd:                    | 391.30              | MPa |
|   | Resist. ultima di calcolo ftd:                      | 391.30              | MPa |
|   | Deform. ultima di calcolo Epu:                      | 0.068               |     |
|   | Modulo Elastico Ef:                                 | 200000.0            | MPa |
|   | Diagramma tensioni-deformaz.:                       | Bilineare finito    |     |
|   | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :   | 1.00                |     |
|   | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 0.50                |     |
| Comb.Rare - Sf Limite:                    | 360.00  | MPa                 |     |

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

|                            |       |                         |
|----------------------------|-------|-------------------------|
| Diametro sezione:          | 100.0 | cm                      |
| Barre circonferenza:       | 20Ø20 | (62.8 cm <sup>2</sup> ) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 8.2   | cm                      |

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

|    |  |
|----|--|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)  |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale  |
| MT | Momento torcente [kN m]  |

| N°Comb. | N       | Mx     | Vy     | MT   |
|---------|---------|--------|--------|------|
| 1       | 1230.00 | 615.00 | 121.00 | 0.00 |
| 2       | 1043.00 | 364.00 | 527.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N      | Mx     |
|---------|--------|--------|
| 1       | 888.00 | 452.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N      | Mx              |
|---------|--------|-----------------|
| 1       | 888.00 | 452.00 (394.49) |

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 11.1 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yneutro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
Mx sn. Momento flettente allo snervamento [kNm]  
x/d Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

| N°Comb | Ver | N       | Mx     | N ult   | Mx ult  | Mis.Sic. | Yn   | M sn   | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|---------|--------|---------|---------|----------|------|--------|-----|--------|---------|
| 1      | S   | 1230.00 | 615.00 | 1229.94 | 1270.84 | 2.066    | 20.4 | 992.12 | --- | ---    | ---     |
| 2      | S   | 1043.00 | 364.00 | 1042.96 | 1225.40 | 3.366    | 21.7 | 944.11 | --- | ---    | ---     |

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Yc max | es min  | Ys min | es max   | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00157 | 50.0   | 0.00253 | 41.8   | -0.00735 | -41.8  |
| 2      | 0.00350 | -0.00181 | 50.0   | 0.00248 | 41.8   | -0.00787 | -41.8  |

### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]  
N.Bracci staffe: 2  
Area staffe/m : 11.3 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 2.4 cm<sup>2</sup>/m]

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Vsdu Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.19)NTC]  
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.18)NTC]  
bw Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

| N°Comb | Ver | Vsdu   | Vrd    | Vcd     | Vwd    | bw   | Teta  | Acw   | ASt |
|--------|-----|--------|--------|---------|--------|------|-------|-------|-----|
| 1      | S   | 121.00 | 411.97 | 1688.24 | 778.74 | 88.5 | 21.80 | 1.111 | 1.8 |
| 2      | S   | 527.00 | 383.87 | 1645.62 | 783.65 | 87.0 | 21.80 | 1.094 | 7.6 |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1      | S   | 7.17   | -50.0  | 0.00   | 50.0   | -119.4 | 41.8   | 22.2    | 2032    | 22.0    | ---     |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

|         |   |
|---------|---|
| Ver     | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  |
| Sclmax  | Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]   |
| Sclmin  | Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]  |
| K3      | =0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica                                     |
| Beta12  | Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2   |
| Psi     | = 1-Beta12*(Ssr/Ss) <sup>2</sup> = 1-Beta12*(fctm/Sclmin) <sup>2</sup> = 1-Beta12*(Mfess/M) <sup>2</sup> [B.6.6 DM96] |
| e sm    | Deformazione unitaria media tra le fessure. Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es                                |
| srm     | Distanza media in mm tra le fessure   |
| wk      | Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.                                |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm]   |

| N°Comb | Ver | Sclmax | Sclmin | Sc Eff | K3    | Beta12 | Psi   | e sm                | srm | wk    | M Fess. |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------------------|-----|-------|---------|
| 1      | S   | 4.95   | -2.93  | ---    | 0.125 | 1.00   | 0.400 | 0.000239 (0.000239) | 263 | 0.107 | 394.49  |

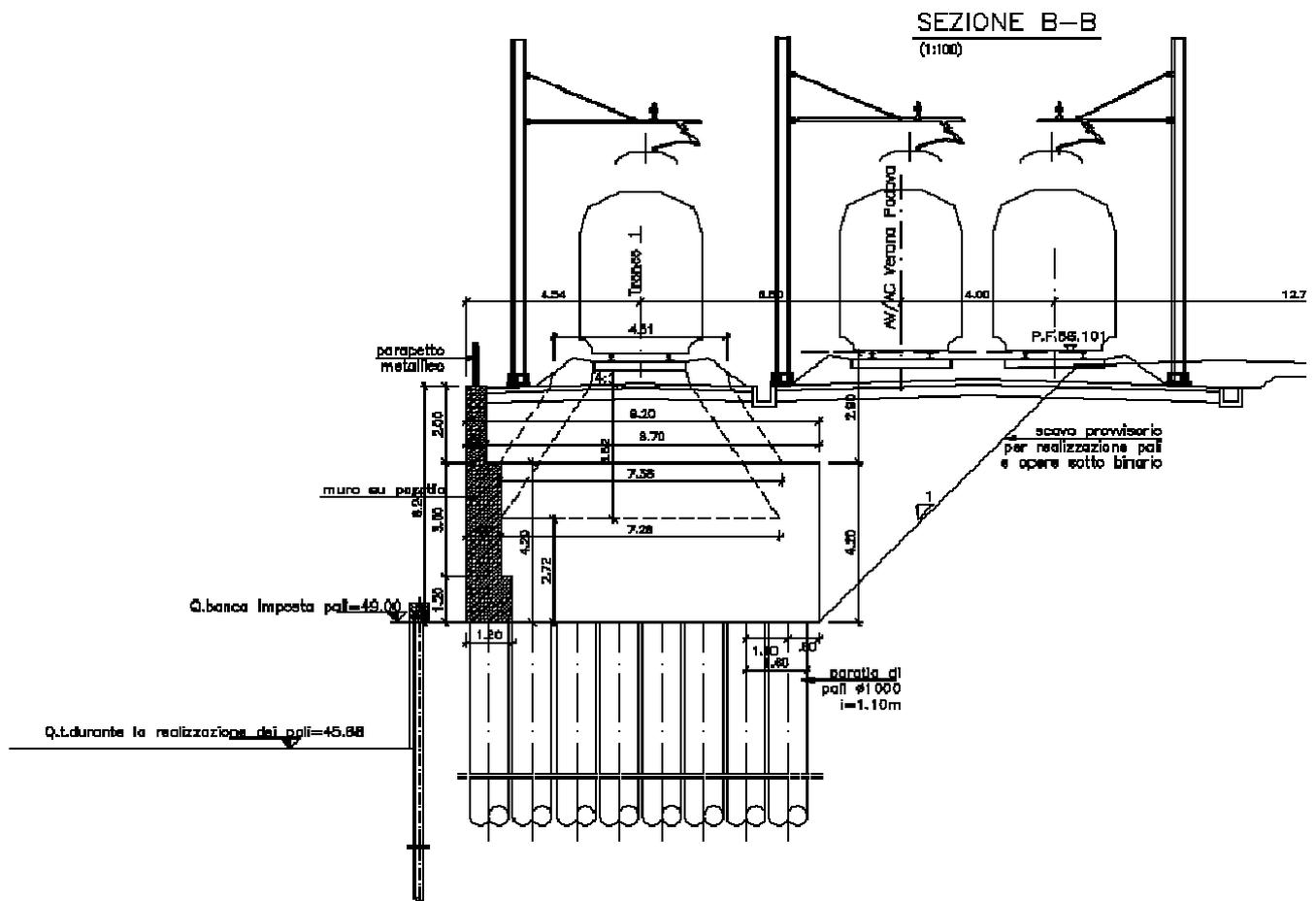
#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1      | S   | 7.17   | -50.0  | 0.00   | 50.0   | -119.4 | 41.8   | 22.2    | 2032    | 22.0    | ---     |

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sclmax | Sclmin | Sc Eff | K3    | Beta12 | Psi   | e sm                | srm | wk           | M Fess. |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1      | S   | 4.95   | -2.93  | ---    | 0.125 | 1.00   | 0.400 | 0.000239 (0.000239) | 263 | 0.107 (0.20) | 394.49  |

**7 MURO SU PALI**



Viene calcolato il muro su pali del 1000 a sostegno del binario. Il muro è soggetto oltre che al peso proprio anche alle spinte del terreno su un'altezza di 6.20m. IL carico dell'armamento e del treno viene ripartito 4:1 nel ballast e 3:2 nel terreno. Il carico così ripartito genera delle spinte sull'altezza pari all'intercetta della larghezza di diffusione con il muro. Il muro è intestato su un palo ed è libero in testa, pertanto è libero di traslare e di ruotare. Si considerano quindi le spinte in condizioni attiva e con la formula di Mononobe-Okabe in condizioni sismiche, prendendo il coefficiente  $\beta_m$  moltiplicato per 2, come da indicazione della 44G.

L'analisi viene effettuata sulla larghezza di 1.1m pari all'interasse dei pali.

| Analisi su larghezza             |            | B     | 1.1 m |       |  |       |                 |                |       |       |       |
|----------------------------------|------------|-------|-------|-------|--|-------|-----------------|----------------|-------|-------|-------|
| Combinazione                     | Comb       | M1    | M2    | -     | B: larghezza striscia di calcolo<br>h: altezza e/o altezza di spinta<br>bv: braccio verticale della forza orizzontale<br>q0: pressione verticale |       |                 |                |       |       |       |
| angolo di attrito                | $\varphi'$ | 38.0  | 32.0  | °     |  |       |                 |                |       |       |       |
| peso di volume                   | $\gamma$   | 20    | 20    | kN/mc |  |       |                 |                |       |       |       |
| coeff spinta attiva              | ka         | 0.238 | 0.307 | -     |  |       |                 |                |       |       |       |
| coeff spinta in cond. sismiche   | ks         | 0.403 | 0.500 | -     |  |       |                 |                |       |       |       |
| coefficiente sismico orizzontale | kh         | 0.196 | 0.196 | -     |  |       |                 |                |       |       |       |
|                                  |            |       |       |       | caratt   |       | RARA (A1+M1+R1) |                |       |       |       |
| Azione                           | B          | h     | ka    | q0    | bv   | Fv    | Fh              | coeff $\gamma$ | Fv    | Fh    | M     |
| -                                | m          | m     | -     | kPa   | m  | kN    | kN              | -              | kN    | kN    | kNm   |
| peso proprio muro                | 1.1        | 6.20  |       |       |  | 141.4 |                 | 1.00           | 141.4 |       |       |
| spinta terreno - rilevato        | 1.1        | 6.20  | 0.238 |       | 2.07   | -     | 100.6           | 1.00           | -     | 100.6 | 207.9 |
| spinta terreno - armamento       | 1.1        | 4.20  | 0.238 | 8.80  | 2.10   | -     | 9.7             | 1.00           | -     | 9.7   | 20.3  |
| spinta terreno - treno           | 1.1        | 2.72  | 0.238 | 20.60 | 1.36   | -     | 14.7            | 1.00           | -     | 14.7  | 19.9  |
| sommano                          |            |       |       |       |  |       |                 |                | 141.4 | 124.9 | 248.1 |

| Analisi su larghezza             |            | B     | 1.1 m |       |  |       |                |                |       |       |       |
|----------------------------------|------------|-------|-------|-------|--|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|
| Combinazione                     | Comb       | M1    | M2    | -     | B: larghezza striscia di calcolo<br>h: altezza e/o altezza di spinta<br>bv: braccio verticale della forza orizzontale<br>q0: pressione verticale |       |                |                |       |       |       |
| angolo di attrito                | $\varphi'$ | 38.0  | 32.0  | °     |  |       |                |                |       |       |       |
| peso di volume                   | $\gamma$   | 20    | 20    | kN/mc |  |       |                |                |       |       |       |
| coeff spinta attiva              | ka         | 0.238 | 0.307 | -     |  |       |                |                |       |       |       |
| coeff spinta in cond. sismiche   | ks         | 0.403 | 0.500 | -     |  |       |                |                |       |       |       |
| coefficiente sismico orizzontale | kh         | 0.196 | 0.196 | -     |  |       |                |                |       |       |       |
|                                  |            |       |       |       | caratt   |       | SLU (A1+M1+R1) |                |       |       |       |
| Azione                           | B          | h     | ka    | q0    | bv   | Fv    | Fh             | coeff $\gamma$ | Fv    | Fh    | M     |
| -                                | m          | m     | -     | kPa   | m  | kN    | kN             | -              | kN    | kN    | kNm   |
| peso proprio muro                | 1.1        | 6.20  |       |       |  | 141.4 |                | 1.35           | 190.8 |       |       |
| spinta terreno - rilevato        | 1.1        | 6.20  | 0.238 |       | 2.07   | -     | 100.6          | 1.35           | -     | 135.8 | 280.6 |
| spinta terreno - armamento       | 1.1        | 4.20  | 0.238 | 8.80  | 2.10   | -     | 9.7            | 1.50           | -     | 14.5  | 30.5  |
| spinta terreno - treno           | 1.1        | 2.72  | 0.238 | 20.60 | 1.36   | -     | 14.7           | 1.45           | -     | 21.3  | 28.9  |
| sommano                          |            |       |       |       |  |       |                |                | 190.8 | 171.6 | 340.0 |

| Analisi su larghezza             |            | B     | 1.1 m |        |      |                |       |                |       |       |       |
|----------------------------------|------------|-------|-------|--------|------|----------------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| Combinazione                     | Comb       | M1    | M2    | -      |      |                |       |                |       |       |       |
| angolo di attrito                | $\varphi'$ | 38.0  | 32.0  | °      |      |                |       |                |       |       |       |
| peso di volume                   | $\gamma$   | 20    | 20    | kN/mc  |      |                |       |                |       |       |       |
| coeff spinta attiva              | $k_a$      | 0.238 | 0.307 | -      |      |                |       |                |       |       |       |
| coeff spinta in cond. sismiche   | $k_s$      | 0.403 | 0.500 | -      |      |                |       |                |       |       |       |
| coefficiente sismico orizzontale | $k_h$      | 0.196 | 0.196 | -      |      |                |       |                |       |       |       |
|                                  |            |       |       | caratt |      | SLU (A2+M2+R2) |       |                |       |       |       |
| Azione                           | B          | h     | $k_a$ | q0     | bv   | Fv             | Fh    | coeff $\gamma$ | Fv    | Fh    | M     |
| -                                | m          | m     | -     | kPa    | m    | kN             | kN    | -              | kN    | kN    | kNm   |
| peso proprio muro                | 1.1        | 6.20  |       |        |      | 141.4          |       | 1.00           | 141.4 |       |       |
| spinta terreno - rilevato        | 1.1        | 6.20  | 0.307 |        | 2.07 | -              | 129.9 | 1.00           | -     | 129.9 | 268.4 |
| spinta terreno - armamento       | 1.1        | 4.20  | 0.307 | 8.80   | 2.10 | -              | 12.5  | 1.30           | -     | 16.2  | 34.1  |
| spinta terreno - treno           | 1.1        | 2.72  | 0.307 | 20.60  | 1.36 | -              | 18.9  | 1.25           | -     | 23.7  | 32.2  |
| sommano                          |            |       |       |        |      |                |       |                | 141.4 | 169.8 | 334.7 |

B: larghezza striscia di calcolo  
h: altezza e/o altezza di spinta  
bv: braccio verticale della forza orizzontale  
q0: pressione verticale

| Analisi su larghezza             |            | B     | 1.1 m |        |      |                    |       |                |       |       |       |
|----------------------------------|------------|-------|-------|--------|------|--------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| Combinazione                     | Comb       | M1    | M2    | -      |      |                    |       |                |       |       |       |
| angolo di attrito                | $\varphi'$ | 38.0  | 32.0  | °      |      |                    |       |                |       |       |       |
| peso di volume                   | $\gamma$   | 20    | 20    | kN/mc  |      |                    |       |                |       |       |       |
| coeff spinta attiva              | $k_a$      | 0.238 | 0.307 | -      |      |                    |       |                |       |       |       |
| coeff spinta in cond. sismiche   | $k_s$      | 0.403 | 0.500 | -      |      |                    |       |                |       |       |       |
| coefficiente sismico orizzontale | $k_h$      | 0.196 | 0.196 | -      |      |                    |       |                |       |       |       |
|                                  |            |       |       | caratt |      | SISMICA (A2+M2+R2) |       |                |       |       |       |
| Azione                           | B          | h     | $k_s$ | q0     | bv   | Fv                 | Fh    | coeff $\gamma$ | Fv    | Fh    | M     |
| -                                | m          | m     | -     | kPa    | m    | kN                 | kN    | -              | kN    | kN    | kNm   |
| peso proprio muro                | 1.1        | 6.20  |       |        |      | 141.4              |       | 1.00           | 141.4 |       |       |
| spinta terreno - rilevato        | 1.1        | 6.20  | 0.403 |        | 2.07 | -                  | 170.3 | 1.00           | -     | 170.3 | 351.9 |
| spinta terreno - armamento       | 1.1        | 4.20  | 0.403 | 8.80   | 2.10 | -                  | 16.4  | 1.00           | -     | 16.4  | 34.4  |
| spinta terreno - treno           | 1.1        | 2.72  | 0.403 | 20.60  | 1.36 | -                  | 24.8  | 0.20           | -     | 5.0   | 6.8   |
| inerzia muro                     | 1.1        | 6.20  |       |        | 3.10 | -                  | 27.8  | 1.00           | -     | 27.8  | 86.1  |
| sommano                          |            |       |       |        |      |                    |       |                | 141.4 | 219.4 | 479.1 |

B: larghezza striscia di calcolo  
h: altezza e/o altezza di spinta  
bv: braccio verticale della forza orizzontale  
q0: pressione verticale

| Analisi su larghezza             |            | B     | 1.1 m |       |        |       |                    |                |       |       |       |
|----------------------------------|------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------------------|----------------|-------|-------|-------|
| Combinazione                     | Comb       | M1    | M2    |       |        |       |                    |                |       |       |       |
| angolo di attrito                | $\varphi'$ | 38.0  | 32.0  |       |        |       |                    |                |       |       |       |
| peso di volume                   | $\gamma$   | 20    | 20    | kN/mc |        |       |                    |                |       |       |       |
| coeff spinta attiva              | ka         | 0.238 | 0.307 |       |        |       |                    |                |       |       |       |
| coeff spinta in cond. sismiche   | ks         | 0.403 | 0.500 |       |        |       |                    |                |       |       |       |
| coefficiente sismico orizzontale | kh         | 0.196 | 0.196 |       |        |       |                    |                |       |       |       |
|                                  |            |       |       |       | caratt |       | SISMICA (A2+M2+R2) |                |       |       |       |
| Azione                           | B          | h     | ks    | q0    | bv     | Fv    | Fh                 | coeff $\gamma$ | Fv    | Fh    | M     |
| -                                | m          | m     | -     | kPa   | m      | kN    | kN                 | -              | kN    | kN    | kNm   |
| peso proprio muro                | 1.1        | 6.20  |       |       |        | 141.4 |                    | 1.00           | 141.4 |       |       |
| spinta terreno - rilevato        | 1.1        | 6.20  | 0.500 |       | 2.07   | -     | 211.4              | 1.00           | -     | 211.4 | 437.0 |
| spinta terreno - armamento       | 1.1        | 4.20  | 0.500 | 8.80  | 2.10   | -     | 20.3               | 1.00           | -     | 20.3  | 42.7  |
| spinta terreno - treno           | 1.1        | 2.72  | 0.500 | 20.60 | 1.36   | -     | 30.8               | 0.20           | -     | 6.2   | 8.4   |
| inerzia muro                     | 1.1        | 6.20  |       |       | 3.10   | -     | 27.8               | 1.00           | -     | 27.8  | 86.1  |
| sommano                          |            |       |       |       |        |       |                    |                | 141.4 | 265.7 | 574.1 |

B: larghezza striscia di calcolo  
h: altezza e/o altezza di spinta  
bv: braccio verticale della forza orizzontale  
q0: pressione verticale

Si riepilogano in carichi in testa al palo, già moltiplicati per il loro interesse.

| Riepilogo azioni in testa al palo |       |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| comb                              | Fv    | Fh    | M     |
| -                                 | kN    | kN    | kNm   |
| RARA (A1+M1+R1)                   | 141.4 | 124.9 | 248.1 |
| SLU (A1+M1+R1)                    | 190.8 | 171.6 | 340.0 |
| SLU (A2+M2+R2)                    | 141.4 | 169.8 | 334.7 |
| SIS (A1+M1+R1)                    | 141.4 | 219.4 | 479.1 |
| SIS (A2+M2+R2)                    | 141.4 | 265.7 | 574.1 |

### Spinta sismica del terreno - NTC 2008, con integrazioni Istruzioni ferroviari

#### Dati

|  |                        |              |                             |
|--|------------------------|--------------|-----------------------------|
| Terreno tipo   |                        | C            |                             |
| Categoria topografica  |                        | 1            |                             |
| F0   | F0                     | 2.434        |                             |
| accelerazione orizzontale massima al suolo attesa su sito di riferimento rig | ag                     | 0.233        | g                           |
|  | Ss                     | 1.36         | -                           |
|  | St                     | 1            |                             |
|  | S                      | 1.36         |                             |
| accelerazione orizzontale massima attesa                                     | a_max=S*ag             | 0.317        |                             |
| spostamenti del muro ammessi   |                        | si           |                             |
|  | $\beta_m$              | 0.31         |                             |
| Verso dell'azione sismica  | (-1/+1)                | 1.0          | verso basso<br>verso l'alto |
|  | kh/(1 ± kv)            | 0.22         | 0.18                        |
| coefficiente amplificativo per kh  | c                      | 2            |                             |
| coefficiente sismico orizzontale   | kh=c* $\beta_m$ *a_max | 0.196        |                             |
| coefficiente sismico verticale   | kv=0.5*kh              | 0.098        |                             |
| Angolo di attrito del terreno  | $\phi$                 | 38.0         | °                           |
| Coefficiente parziale per l'angolo di attrito                                | $\gamma_\phi$          | 1.00         |                             |
| Angolo di attrito di progetto del terreno                                    | $\phi'_d$              | 38.0         | °                           |
| inclinazione della parete del muro rivolta a monte                           | $\Psi$                 | 90.0         | °                           |
| inclinazione della superficie del terrapieno                                 | $\beta$                | 0.0          | °                           |
| Angolo di attrito tra muro e terreno   | $\delta$               | 0.0          | °                           |
| Angolo di attrito di progetto tra muro e terreno                             | $\delta_d$             | 0.0          | °                           |
|  | $\theta$ (°)           | 12.3         | 10.1                        |
| Coefficiente di spinta attiva  | Ka                     | 0.238        |                             |
| Coefficiente di spinta passiva   | Kp                     | 4.204        |                             |
| Coefficiente di spinta (statico + dinamico), per stati attivi                | K                      | 0.367        | 0.340                       |
| Coefficiente di spinta in condizioni sismiche, per stati attivi              | (1+kv)*K               | <b>0.403</b> | <b>0.306</b>                |
| Coefficiente di spinta (statico + dinamico), per stati passivi               | K                      | 3.735        | 3.822                       |
| Coefficiente di spinta in condizioni sismiche, per stati passivi             | (1+kv)*K               | 4.101        | 3.447                       |
| <u>Per combinazione GEO</u>  |                        |              |                             |
|  | $\gamma_\phi$          | 1.25         |                             |
|  | $\phi'_d$              | 32.01        | °                           |
| Coefficiente di spinta (statico + dinamico), per stati attivi                | K                      | 0.455        | 0.424                       |
| <b>Coefficiente di spinta in condizioni sismiche, per stati attivi</b>       | <b>(1-kv)*K</b>        | <b>0.500</b> | <b>0.382</b>                |

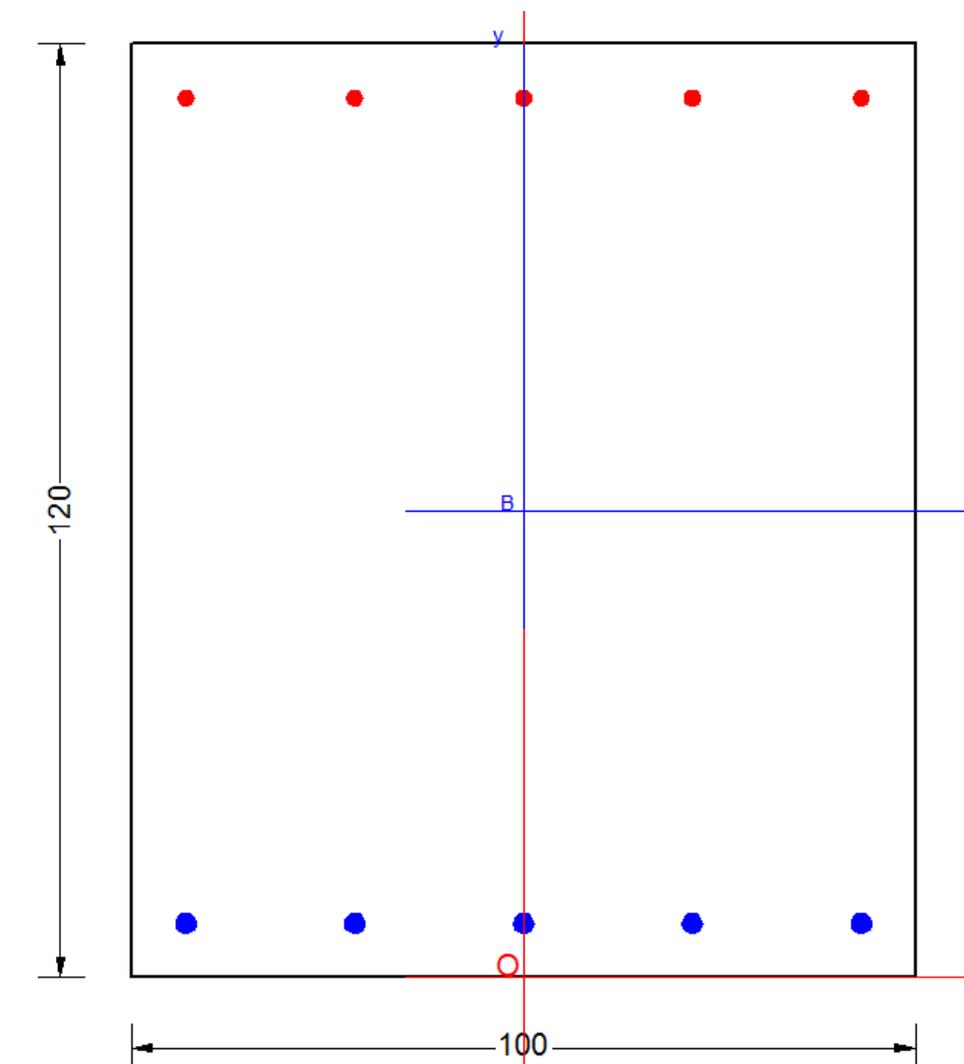
### Spinta sismica del terreno - NTC 2008, con integrazioni Istruzioni ferroviari

#### Dati

|  |                        |              |                             |
|--|------------------------|--------------|-----------------------------|
| Terreno tipo   |                        | C            |                             |
| Categoria topografica  |                        | 1            |                             |
| F0   | F0                     | 2.434        |                             |
| accelerazione orizzontale massima al suolo attesa su sito di riferimento rig | ag                     | 0.233        | g                           |
|  | Ss                     | 1.36         | -                           |
|  | St                     | 1            |                             |
|  | S                      | 1.36         |                             |
| accelerazione orizzontale massima attesa                                     | a_max=S*ag             | 0.317        |                             |
| spostamenti del muro ammessi   | $\beta_m$              | 0.31         |                             |
|  |                        |              |                             |
| Verso dell'azione sismica  | (-1/+1)                | 1.0          | verso basso<br>verso l'alto |
|  | kh/(1 ± kv)            | 0.22         | 0.18                        |
| coefficiente amplificativo per kh  | c                      | 2            |                             |
| coefficiente sismico orizzontale   | kh=c* $\beta_m$ *a_max | 0.196        |                             |
| coefficiente sismico verticale   | kv=0.5*kh              | 0.098        |                             |
| Angolo di attrito del terreno  | $\phi$                 | 32.0         | °                           |
| Coefficiente parziale per l'angolo di attrito                                | $\gamma_\phi$          | 1.00         |                             |
| Angolo di attrito di progetto del terreno                                    | $\phi'_d$              | 32.0         | °                           |
| inclinazione della parete del muro rivolta a monte                           | $\Psi$                 | 90.0         | °                           |
| inclinazione della superficie del terrapieno                                 | $\beta$                | 0.0          | °                           |
| Angolo di attrito tra muro e terreno   | $\delta$               | 0.0          | °                           |
| Angolo di attrito di progetto tra muro e terreno                             | $\delta_d$             | 0.0          | °                           |
|  |                        |              |                             |
|  | $\theta$ (°)           | 12.3         | 10.1                        |
| Coefficiente di spinta attiva  | Ka                     | 0.307        |                             |
| Coefficiente di spinta passiva   | Kp                     | 3.255        |                             |
|  |                        |              |                             |
| Coefficiente di spinta (statico + dinamico), per stati attivi                | K                      | 0.455        | 0.424                       |
| Coefficiente di spinta in condizioni sismiche, per stati attivi              | (1+kv)*K               | <b>0.500</b> | <b>0.382</b>                |
|  |                        |              |                             |
| Coefficiente di spinta (statico + dinamico), per stati passivi               | K                      | 2.835        | 2.915                       |
| Coefficiente di spinta in condizioni sismiche, per stati passivi             | (1+kv)*K               | 3.113        | 2.629                       |
|  |                        |              |                             |
| <u>Per combinazione GEO</u>  |                        |              |                             |
|  | $\gamma_\phi$          | 1.25         |                             |
|  | $\phi'_d$              | 26.57        | °                           |
|  |                        |              |                             |
| Coefficiente di spinta (statico + dinamico), per stati attivi                | K                      | 0.551        | 0.515                       |
| <b>Coefficiente di spinta in condizioni sismiche, per stati attivi</b>       | <b>(1-kv)*K</b>        | <b>0.605</b> | <b>0.464</b>                |

### 7.1.1 Verifica muro

In favore di sicurezza, si considerano le azioni su 1.1m di larghezza e si verifica la sezione larga 1m.



### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: H120

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Stati Limite Ultimi

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Normativa di riferimento:     | N.T.C.                        |
| Tipologia sezione:            | Sezione predefinita           |
| Forma della sezione:          | Rettangolare                  |
| Percorso sollecitazione:      | A Sforzo Norm. costante       |
| Condizioni Ambientali:        | Poco aggressive               |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento alla sismicità:   | Zona non sismica              |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|   |   |                     |
|---|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                                      | Classe:   | C28/35              |
|   | Resistenza compress. di calcolo fcd:              | 15.86 MPa           |
|   | Deform. unitaria max resistenza ec2:              | 0.0020              |
|   | Deformazione unitaria ultima ecu:                 | 0.0035              |
|   | Diagramma tensioni-deformaz.:                     | Parabola-Rettangolo |
|   | Modulo Elastico Normale Ec:                       | 32308.0 MPa         |
|   | Resis. media a trazione fctm:                     | 2.760 MPa           |
|   | Coeff.Omogen. S.L.E.:                             | 15.00               |
|   | Sc limite S.L.E. comb. Rare:                      | 16.800 MPa          |
|   | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:                 | 16.800 MPa          |
|   | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 0.400 mm            |
| ACCIAIO -   | Tipo:   | B450C               |
|   | Resist. caratt. a snervamento fyk:                | 450.00 MPa          |
|   | Resist. caratt. a rottura ftk:                    | 450.00 MPa          |
|   | Resist. a snerv. di calcolo fyd:                  | 391.30 MPa          |
|   | Resist. ultima di calcolo ftd:                    | 391.30 MPa          |
|   | Deform. ultima di calcolo Epu:                    | 0.068               |
|   | Modulo Elastico Ef:                               | 200000.0 MPa        |
|   | Diagramma tensioni-deformaz.:                     | Bilineare finito    |
|   | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00                |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 0.50  |                     |
| Comb.Rare - Sf Limite:                              | 360.00 MPa  |                     |

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

|                                |       |                         |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base:                          | 100.0 | cm                      |
| Altezza:                       | 120.0 | cm                      |
| Barre inferiori:               | 5Ø26  | (26.5 cm <sup>2</sup> ) |
| Barre superiori:               | 5Ø20  | (15.7 cm <sup>2</sup> ) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.0   | cm                      |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.0   | cm                      |

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

|    |   |
|----|---|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)   |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale   |
| MT | Momento torcente [kN m]   |

| N°Comb. | N      | Mx     | Vy   | MT   |
|---------|--------|--------|------|------|
| 1       | 190.00 | 340.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2       | 140.00 | 480.00 | 0.00 | 0.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N      | Mx     |
|---------|--------|--------|
| 1       | 140.00 | 250.00 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N      | Mx              |
|---------|--------|-----------------|
| 1       | 140.00 | 250.00 (852.35) |

### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.7 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 18.9 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yneutro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
Mx sn. Momento flettente allo snervamento [kNm]  
x/d Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

| N°Comb | Ver | N      | Mx     | N ult  | Mx ult  | Mis.Sic. | Yn    | M sn    | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|--------|--------|--------|---------|----------|-------|---------|-----|--------|---------|
| 1      | S   | 190.00 | 340.00 | 189.98 | 1239.57 | 3.630    | 111.7 | 1180.87 | --- | ---    | --- 12) |
| 2      | S   | 140.00 | 480.00 | 140.09 | 1213.05 | 2.522    | 111.9 | 1157.05 | --- | ---    | --- 12) |

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

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)       |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Yc max | es min  | Ys min | es max   | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.01827 | 120.0  | 0.00054 | 113.0  | -0.04434 | 7.0    |
| 2      | 0.00350 | -0.01885 | 120.0  | 0.00046 | 113.0  | -0.04560 | 7.0    |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

|         |  |
|---------|--|
| Ver     | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| Sc max  | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]   |
| Yc max  | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  |
| Sc min  | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]  |
| Yc min  | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  |
| Sf min  | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]   |
| Ys min  | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre   |
| Ac eff. | Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)   |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  |
| D barre | Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione (se Dbarre >14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96]) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1      | S   | 1.76   | 120.0  | 0.00   | 87.8   | -66.2  | 113.0  | 25.2    | 2520    | 26.5    | 21.5    |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

|         |   |
|---------|---|
| Ver     | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata                                |
| Sclmax  | Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]                     |
| Sclmin  | Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]                      |
| K3      | =0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica       |
| Beta12  | Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2   |
| Psi     | = 1-Beta12*(Ssr/Ss)² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin)² = 1-Beta12*(Mfess/M)² [B.6.6 DM96]       |
| e sm    | Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es |
| srm     | Distanza media in mm tra le fessure   |
| wk      | Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.  |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm]   |

| N°Comb | Ver | Sclmax | Sclmin | Sc Eff | K3    | Beta12 | Psi   | e sm                | srm | wk    | M Fess. |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------------------|-----|-------|---------|
| 1      | S   | 1.05   | -0.81  | ---    | 0.125 | 1.00   | 0.400 | 0.000132 (0.000132) | 280 | 0.063 | 852.35  |

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

Pag 75 di 82

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

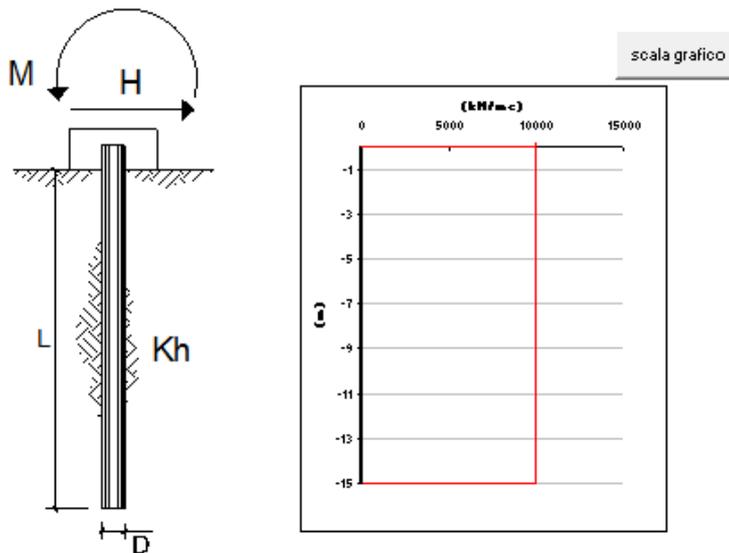
1 S 1.76 120.0 0.00 87.8 -66.2 113.0 25.2 2520 26.5 21.5

## COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3    | Beta12 | Psi   | e sm                | srm | wk           | M Fess. |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1      | S   | 1.05   | -0.81  | ---    | 0.125 | 1.00   | 0.400 | 0.000132 (0.000132) | 280 | 0.063 (0.40) | 852.35  |

### 7.1.2 Verifica palo

Si considera una costante elastica orizzontale  $k_h=10'000$  kN/mc. Si considera il palo incastrato in testa.

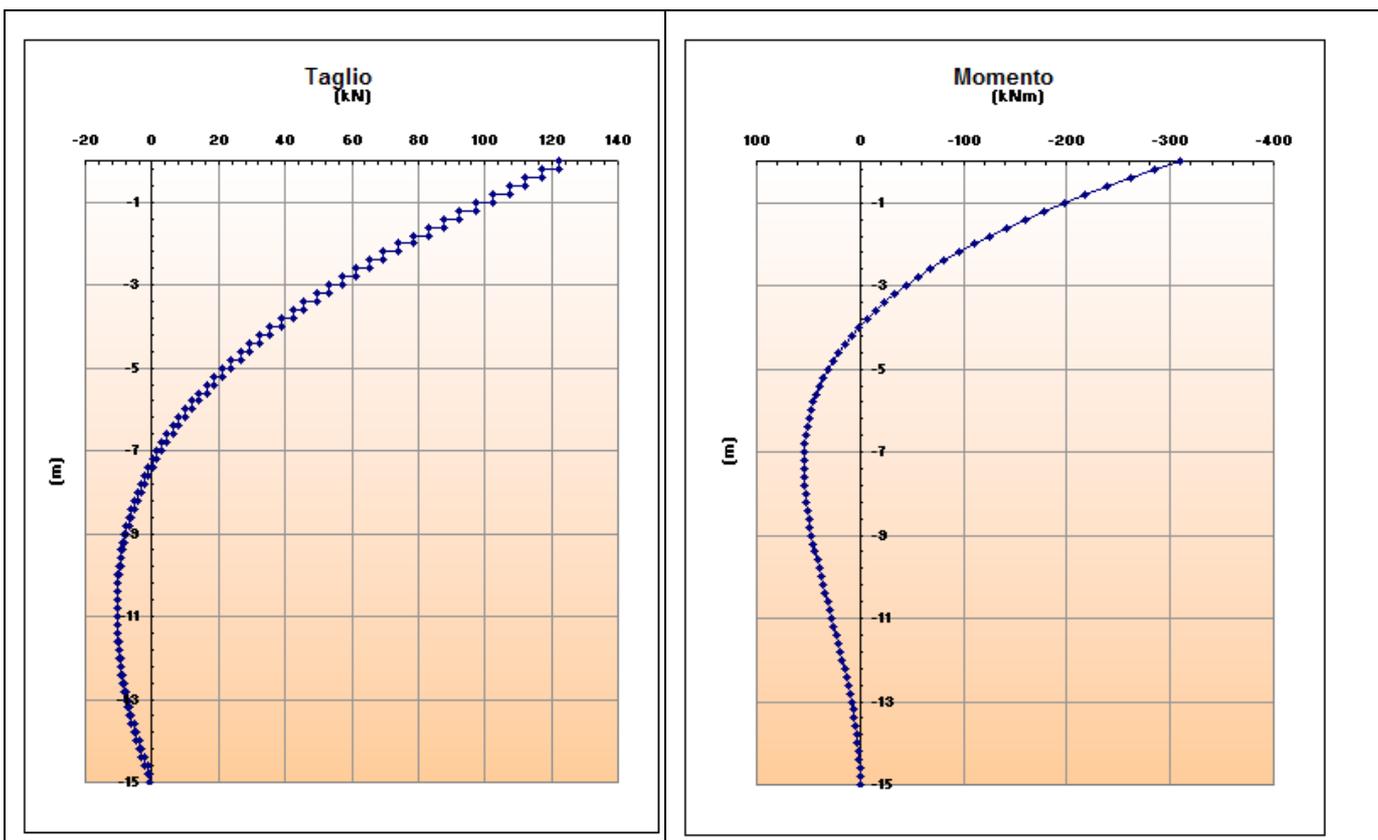


| strati terreno                               | descrizione | quote (m) | $k_n$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $n_n$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
|--|-------------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| p.c.=strato 1                                |             | 0.00      | 10000                      | 0                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> strato 2 |             | 15.00     | 10000                      | 0                          |
| <input type="checkbox"/> strato 3            |             |           |                            |                            |
| <input type="checkbox"/> strato 4            |             |           |                            |                            |
| <input type="checkbox"/> strato 5            |             |           |                            |                            |
| <input type="checkbox"/> strato 6            |             |           |                            |                            |

Diametro del palo 1 (m)  
 J palo 0.04909 (m<sup>4</sup>)  
 Lunghezza del palo 15 (m)  
 Forza orizzontale in testa 125 (kN)  
 Momento in testa -250 (kNm)  
 E cls 31220 (Mpa)  
 dimensione elementi 0.2 (m)

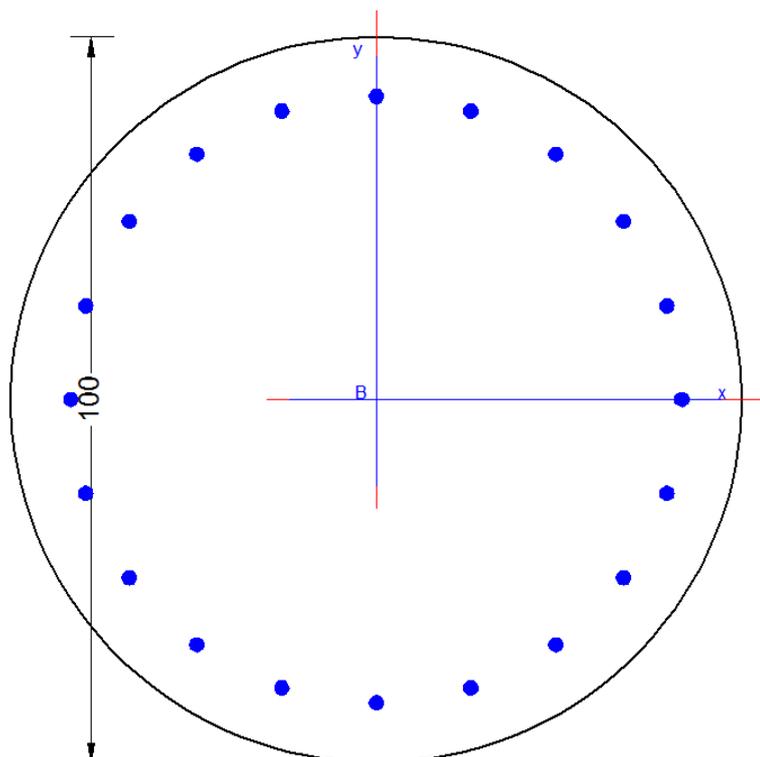
- palo impedito di ruotare  
 palo impedito di traslare  
 palo libero

Calcolo  
(ctrl+r)



Si hanno quindi le seguenti sollecitazioni sul palo.

| Riepilogo azioni in testa al palo |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| comb                              | Fv    | Fh    | M     | Tpalo | Mpalo |
| -                                 | kN    | kN    | kNm   | kN    | kNm   |
| RARA (A1+M1+R1)                   | 141.4 | 124.9 | 248.1 | 124.9 | 309.8 |
| SLU (A1+M1+R1)                    | 190.8 | 171.6 | 340.0 | 171.6 | 425.5 |
| SLU (A2+M2+R2)                    | 141.4 | 169.8 | 334.7 | 169.8 | 421.1 |
| SIS (A1+M1+R1)                    | 141.4 | 219.4 | 479.1 | 219.4 | 544.0 |
| SIS (A2+M2+R2)                    | 141.4 | 265.7 | 574.1 | 265.7 | 658.9 |



**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: paloF1000**

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Descrizione Sezione:          | Stati Limite Ultimi           |
| Metodo di calcolo resistenza: | N.T.C.                        |
| Normativa di riferimento:     | Sezione predefinita           |
| Tipologia sezione:            | Circolare                     |
| Forma della sezione:          | A Sforzo Norm. costante       |
| Percorso sollecitazione:      | Molto aggressive              |
| Condizioni Ambientali:        | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Zona non sismica              |
| Riferimento alla sismicità:   |                               |

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

|                |                                      |                     |
|----------------|--------------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                              | C25/30              |
|                | Resistenza compress. di calcolo fcd: | 14.16 MPa           |
|                | Resistenza compress. ridotta fcd':   | 7.080 MPa           |
|                | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020              |
|                | Deformazione unitaria ultima ecu:    | 0.0035              |
|                | Diagramma tensioni-deformaz.:        | Parabola-Rettangolo |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:          | 31475.0 MPa         |
|                | Resis. media a trazione fctm:        | 2.560 MPa           |

|   |            |
|---|------------|
| Coeff.Omogen. S.L.E.:                     | 15.00      |
| Sc limite S.L.E. comb. Rare:              | 12.500 MPa |
| Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 12.500 MPa |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200 mm   |

|           |   |                  |
|-----------|---|------------------|
| ACCIAIO - | Tipo:   | B450C            |
|           | Resist. caratt. a snervamento fyk:                  | 450.00 MPa       |
|           | Resist. caratt. a rottura ftk:                      | 450.00 MPa       |
|           | Resist. a snerv. di calcolo fyd:                    | 391.30 MPa       |
|           | Resist. ultima di calcolo ftd:                      | 391.30 MPa       |
|           | Deform. ultima di calcolo Epu:                      | 0.068            |
|           | Modulo Elastico Ef:                                 | 200000.0 MPa     |
|           | Diagramma tensioni-deformaz.:                       | Bilineare finito |
|           | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :   | 1.00             |
|           | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 0.50             |
|           | Comb.Rare - Sf Limite:                              | 360.00 MPa       |

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

|                            |       |                         |
|----------------------------|-------|-------------------------|
| Diametro sezione:          | 100.0 | cm                      |
| Barre circonferenza:       | 20Ø20 | (62.8 cm <sup>2</sup> ) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 8.2   | cm                      |

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

|    |   |  |  |  |
|----|---|--|--|--|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)   |  |  |  |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |  |  |  |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale   |  |  |  |
| MT | Momento torcente [kN m]   |  |  |  |

| N°Comb. | N      | Mx     | Vy     | MT   |
|---------|--------|--------|--------|------|
| 1       | 190.00 | 425.00 | 170.00 | 0.00 |
| 2       | 140.00 | 660.00 | 265.00 | 0.00 |

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

|    |  |  |
|----|--|--|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  |  |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |  |

| N°Comb. | N      | Mx     |
|---------|--------|--------|
| 1       | 140.00 | 310.00 |

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

|    |  |  |
|----|--|--|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  |  |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |  |

| N°Comb. | N      | Mx              |
|---------|--------|-----------------|
| 1       | 140.00 | 310.00 (311.84) |

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

|  |         |
|--|---------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 7.2 cm  |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 11.1 cm |
| Copriferro netto minimo staffe:              | 6.0 cm  |

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

|          |   |
|----------|---|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  |
| N        | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  |
| Mx       | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  |
| N ult    | Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)   |
| Mx ult   | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico   |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$ |
| Yneutro  | Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.   |
| Mx sn.   | Momento flettente allo snervamento [kNm]  |
| x/d      | Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)  |
| C.Rid.   | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]   |

| N°Comb | Ver | N      | Mx     | N ult  | Mx ult | Mis.Sic. | Yn   | M sn   | x/d | C.Rid. | As Tesa |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|----------|------|--------|-----|--------|---------|
| 1      | S   | 190.00 | 425.00 | 190.16 | 997.33 | 2.347    | 27.8 | 709.24 | --- | ---    | ---     |
| 2      | S   | 140.00 | 660.00 | 140.11 | 981.74 | 1.487    | 28.1 | 694.62 | --- | ---    | ---     |

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

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)       |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Yc max | es min  | Ys min | es max   | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00325 | 50.0   | 0.00221 | 41.8   | -0.01095 | -41.8  |
| 2      | 0.00350 | -0.00336 | 50.0   | 0.00219 | 41.8   | -0.01120 | -41.8  |

#### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

|                  |  |
|------------------|--|
| Diametro staffe: | 12 mm  |
| Passo staffe:    | 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm] |

N.Bracci staffe: 2  
Area staffe/m : 11.3 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 2.4 cm<sup>2</sup>/m]

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Vsdu Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.19)NTC]  
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.18)NTC]  
bw Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

| N°Comb | Ver | Vsdu   | Vrd    | Vcd     | Vwd    | bw   | Teta  | Acw   | ASt |
|--------|-----|--------|--------|---------|--------|------|-------|-------|-----|
| 1      | S   | 170.00 | 285.45 | 1473.13 | 798.84 | 82.2 | 21.80 | 1.017 | 2.4 |
| 2      | S   | 265.00 | 276.04 | 1444.94 | 803.91 | 80.4 | 21.80 | 1.013 | 3.7 |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

VerS = combinazione verificata / N = combin. non verificata

Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1      | S   | 5.32   | -50.0  | 0.00   | 50.0   | -158.0 | 41.8   | 22.2    | 2032    | 22.0    | ---     |

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sclmax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]  
Sclmin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]  
K3 = 0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica  
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1\*Beta2  
Psi = 1-Beta12\*(Ssr/Ss)<sup>2</sup> = 1-Beta12\*(fctm/Sclmin)<sup>2</sup> = 1-Beta12\*(Mfess/M)<sup>2</sup> [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure. Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es  
srm Distanza media in mm tra le fessure  
wk Apertura delle fessure in mm = 1,7\*Eps\*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

| N°Comb | Ver | Sclmax | Sclmin | Sc Eff | K3    | Beta12 | Psi   | e sm                | srm | wk    | M Fess. |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------------------|-----|-------|---------|
| 1      | S   | 2.86   | -2.54  | ---    | 0.125 | 1.00   | 0.400 | 0.000316 (0.000316) | 263 | 0.141 | 311.84  |

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO: PROLUNGAMENTO TOMBINO  
AL Km 0+766,66

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

Pag 82 di 82

IN0D 00 D I2 CL IN0100 001 A

|   |   |      |       |      |      |        |      |      |      |      |     |
|---|---|------|-------|------|------|--------|------|------|------|------|-----|
| 1 | S | 5.32 | -50.0 | 0.00 | 50.0 | -158.0 | 41.8 | 22.2 | 2032 | 22.0 | --- |
|---|---|------|-------|------|------|--------|------|------|------|------|-----|

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3    | Beta12 | Psi   | e sm                | srm | wk           | M Fess. |
|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1      | S   | 2.86   | -2.54  | ---    | 0.125 | 1.00   | 0.400 | 0.000316 (0.000316) | 263 | 0.141 (0.20) | 311.84  |