

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

RELAZIONE DI CALCOLO

INTERFERENZE IDRAULICHE ED OPERE IDRAULICHE

IN03 PROLUNGAMENTO TOMBINO 2,00x3,50m ESISTENTE SOTTO LINEA STORICA AL km 2+364,52:

RELAZIONE DI CALCOLO

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

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

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | N | 0 | D | 0 | 0 | D | I | 2 | C | L | I | N | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | |
|---------------------|--------------------|----------------|
| ATI bonifica | VISTO ATI BONIFICA | |
| | Firma | Data |
| | Ing.F.P. Bocchetto | Settembre 2015 |

Programmazione

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|-------------|--------------|---------|------------|---------|-----------|---------|----------------------|
| A | EMISSIONE | P. Simonetti | 09/2015 | G.Nizzi | 09/2015 | F.Momoni | 09/2015 | F. Momoni 09/2015 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------|
| File: IN0D00DI2CLIN0300001A_00A.DOC | CUP.: J41E91000000009 | |
| | CIG.: 3320049F17 | n. Elab.: |

INDICE

| | | |
|-------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 4 |
| 2 | SCOPO DEL DOCUMENTO | 6 |
| 3 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 6 |
| 3.1 | DOCUMENTI REFERENZIATI | 6 |
| 4 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 6 |
| 5 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 7 |
| 6 | GEOMETRIA DELLA STRUTTURA | 9 |
| 7 | ANALISI DEI CARICHI | 10 |
| 7.1 | PESO PROPRIO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI (G1)..... | 10 |
| 7.2 | CARICHI PERMANENTI PORTATI, ESCLUSO BALLAST (G2)..... | 10 |
| 7.3 | CARICHI PERMANENTI PORTATI, BALLAST (G2B) | 10 |
| 7.3.1 | <i>Spinta permanente del terreno (ENV-SP).....</i> | <i>11</i> |
| 7.3.2 | <i>Spinta simmetrica (SP-A;SP-R).....</i> | <i>12</i> |
| 7.3.3 | <i>Spinta asimmetrica (SP-ASYM-SX; SP-ASYM-DX)</i> | <i>12</i> |
| 7.3.4 | <i>Inviluppo delle spinte permanenti (ENV – SP).....</i> | <i>12</i> |
| 7.4 | AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO FERROVIARIO (ENV-TRAFF) | 13 |
| 7.4.1 | <i>Carichi verticali (Q).....</i> | <i>13</i> |
| 7.4.2 | <i>Spinte variabili prodotte dal sovraccarico ferroviario sul rinterro</i> | <i>14</i> |
| 7.4.3 | <i>Frenatura e avviamento (ENV-FRENAVV).....</i> | <i>15</i> |
| 7.4.4 | <i>Centrifuga e serpeggio (Q4).....</i> | <i>15</i> |
| 7.4.5 | <i>Gruppi di carico</i> | <i>15</i> |
| 7.5 | AZIONI TERMICHE (ENV-TERMICA) | 17 |

| | | |
|------|---|----|
| 7.6 | RITIRO (ENV-RITIRO) | 18 |
| 7.7 | AZIONI SISMICHE | 19 |
| 7.8 | SOVRASPINTA SISMICA TERRENO | 21 |
| 8 | COMBINAZIONI DI CARICO | 22 |
| 8.1 | COMBINAZIONE FONDAMENTALE SLU STRUTTURALE | 25 |
| 8.2 | COMBINAZIONE SLE RARA | 25 |
| 8.3 | COMBINAZIONE SLE FREQUENTE | 26 |
| 8.4 | COMBINAZIONE SLE QUASI PERMANENTE | 26 |
| 8.5 | COMBINAZIONE SISMICA..... | 26 |
| 9 | MODELLO DI CALCOLO | 28 |
| 10 | VERIFICHE | 30 |
| 10.1 | STATO LIMITE ULTIMO – RESISTENZA PER FLESSIONE E/O PRESSOFLESSIONE..... | 31 |
| 10.2 | STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE..... | 31 |
| 10.3 | TENSIONI MASSIME IN ESERCIZIO | 32 |
| 10.4 | SEZIONI DI VERIFICA | 32 |
| 10.5 | SOLLECITAZIONI DI CALCOLO..... | 33 |
| 10.6 | VERIFICA DI SEZIONE | 35 |
| 10.7 | VERIFICA A TAGLIO..... | 40 |

1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo ha per oggetto il dimensionamento strutturale del tombino di dimensioni 2,00 x 3,50 m al km 2+364,52.

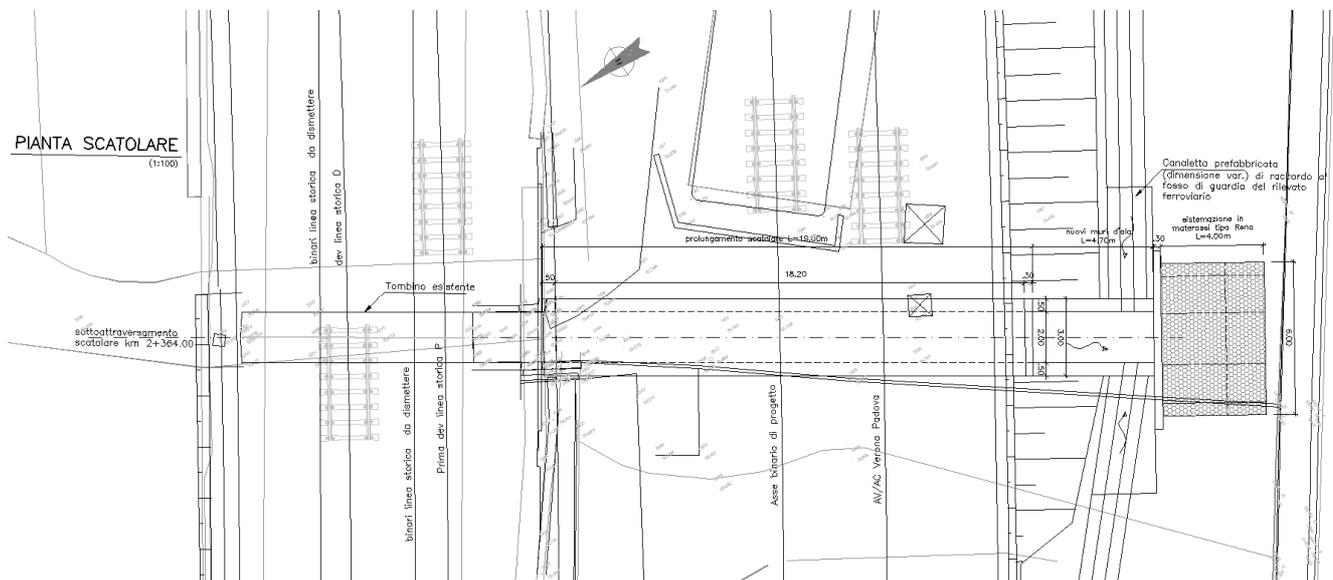


Figura 1 – Planimetria

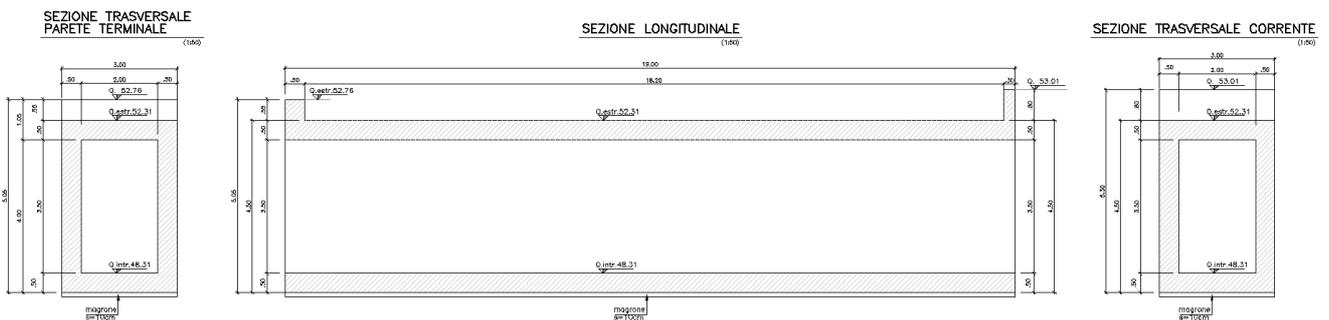


Figura 2 – Carpenteria

SEZIONE LONGITUDINALE IN ASSE ALLO SCATOLARE (1:100)

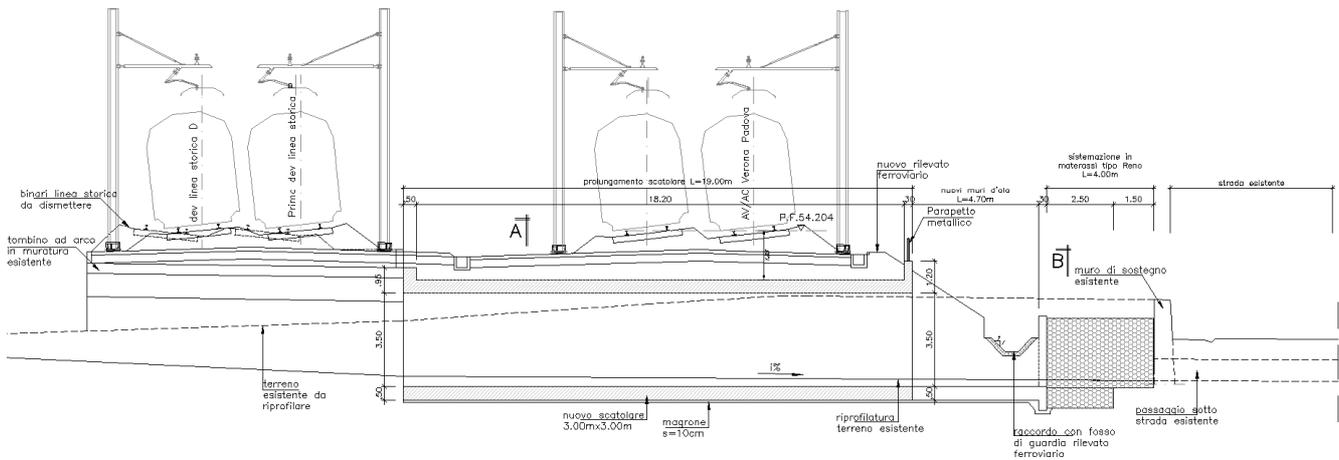


Figura 3 – Sezione longitudinale

| | | |
|--|--|-------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 6 di 42 |

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

IN03 PROLUNGAMENTO TOMBINO 2,00x3,50m ESISTENTE SOTTO LINEA STORICA AL km 2+364,52:

IN0D00DI2PZIN030X001A - PIANTA, PROSPETTO E SEZIONE

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;

| | | | |
|--|--|------|-------------|
|  ATI bonifica | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | | |
| | PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 7 di 42 |

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

| II campi di impiego | III classe di esposizione ambientale (UNI EN 206) | IV classe di resistenza minima [C(f _{ck} /R _{ck}) _{min}] | IV.a classe di resistenza adottata [C(f _{ck} /R _{ck}) _{min}] | V classe di resistenza di calcolo R _{ck} (MPa) |
|--|--|---|---|---|
| Opere in elevazione con superfici interrato o non ispezionabili | XC3 | C28/35 | C28/35 | 35 |

| 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: Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel coprifero 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 Calcestruzzo costantemente immerso in acqua |
| XC2 | Bagnato, raramente asciutto | Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni |
| XC3 | Umidità moderata | Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata 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 4 – 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 |

Lo scatolare rientra quindi nella condizione ambientale ordinaria. Le caratteristiche meccaniche sono:

| | | |
|---|---------------|---------------------------|
| coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo | γ_c | 1.5 |
| coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata | α_{cc} | 0.85 |
| modulo di Poisson | ν | 0.2 |
| peso dell'unità di volume | ρ | 25 kN/m ³ |
| coefficiente di dilatazione termica | α | 1.00E-05 °C ⁻¹ |

| f_{ck} | R_{ck} | Classe | f_{cm} | f_{cd} | E_{cm} | f_{ctm} | $f_{ctk\ 0,05}$ = 0.7*f _{ctm} | $f_{ctk\ 0,95}$ = 1.3*f _{ctm} | f_{ctm} | $f_{ctd} =$ $f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$ |
|----------|----------|--------|----------|----------|----------|-----------|---|---|-----------|---|
| [MPa] | [MPa] | | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] |
| 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 | γ_s | 1.15 - |
| Resistenza di progetto | f_{yd} | 391.3 MPa |

6 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

La struttura in oggetto sottopassa la linea ferroviaria ad una distanza fra piano ferro ed estradosso soletta pari a 1.85 m. Esso ha dimensioni interne 2.00×3.50m, con piedritti, soletta superiore e soletta inferiore di spessore 50 cm. Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00m. In figura si riportano schematicamente la geometria dell'opera e la simbologia adottata.

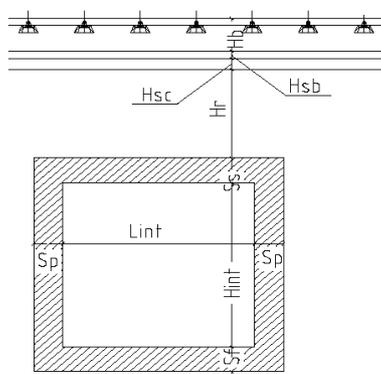


Figura 5 – Geometria dell'opera

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 | 1.20 m |
| Spessore del sub ballast + supercompattato + rinterro | H1=Hr+Hsc+Hsb | 1.20 m |
| Spessore soletta superiore | Ss | 0.50 m |
| Spessore piedritti | Sp | 0.50 m |
| Spessore soletta inferiore | Sf | 0.50 m |
| Larghezza utile del sottopasso | Lint | 2.00 m |
| Altezza utile del sottopasso | Hint | 3.50 m |
| Larghezza totale del sottopasso | Ltot | 3.00 m |
| Altezza totale del sottopasso | Htot | 4.50 m |
| Larghezza striscia di calcolo | b | 1.00 m |

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 10 di 42 |

7 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:

| | γ (kN/m ³) | ϕ (°) | c' (°) |
|--|-------------------------------|------------|----------|
| calcestruzzo armato | 25 | - | - |
| ballast + armamento | 18 | - | - |
| Terreno a ridosso dei piedritti (rilevato esistente) | 20 | 38 | - |

7.1 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/m³.

Peso soletta superiore: $P_{ss} = 0.50 \cdot 25 \cdot 1 = 12.50$ kN/m

Peso soletta inferiore: $P_{si} = 0.50 \cdot 25 \cdot 1 = 12.50$ kN/m

Peso piedritti: $P_p = 0.50 \cdot 25 \cdot 1 = 12.50$ kN/m

7.2 Carichi permanenti portati, escluso ballast (G2)

- Su soletta superiore

– Terreno di riempimento (sp.120cm) 1.20x20x1 = 24 kN/m

Totale $G_{2,sup} = 24$ kN/m

7.3 Carichi permanenti portati, ballast (G2b)

– Permanente portato (ballast, sp.80cm) $G_{2,sup,b} = 0.80 \cdot 18 \cdot 1 = 14.40$ kN/m

7.3.1 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 6 – diagramma di spinta elementare – s1=1



Figura 7 – diagramma di spinta elementare – s2=1



Figura 8 – diagramma di spinta elementare – s3=1



Figura 9 – diagramma di spinta elementare – s4=1



Figura 10 – diagramma di spinta elementare – s5=1

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO | REV. | Pag 12 di 42 |
| IN0D00DI2CLIN0300001A | | |

7.3.2 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:

$$s_1 = \gamma \cdot h = 90 \text{ KN/m}^2$$

con:

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

$$h = 4.50 \text{ m (altezza fuori tutto dello scatolare)}$$

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

| Strato | γ (kN/m ³) | H (m) | $\gamma \times H$ (kN/m ²) |
|--|-------------------------------|---------------------|--|
| Spessore medio del ballast + armamento | 18 | 0.80 m | 14.40 m |
| Terreno di riempimento | 20 | 1.20 m | <u>24.00 m</u> |
| Tensione verticale totale all'estradosso della soletta superiore | | $s_{2g} = s_{3g} =$ | 38.40 m |

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

| Combinazione | Comb | M1 - |
|-----------------------|------------|---------|
| angolo di attrito | φ' | 38.0 ° |
| coeff spinta a riposo | k0 | 0.384 - |
| coeff spinta attiva | ka | 0.238 - |

7.3.3 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:

7.3.4 Inviluppo delle spinte permanenti (ENV – SP)

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

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 13 di 42 |

7.4 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;

7.4.1 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:

$$a = [(H_b - H_{tb})/4 + H_1/3 \times 2 + S_s/2] \times 2 = 2.28 \text{ m}$$

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

Lunghezza di diffusione longitudinale per gli assi del LM71 $B_{l,1} = (0.8 + 1.6 \times 3 + 0.8) + a = 8.68 \text{ m}$

Larghezza di diffusione trasversale $B_t = 2.60 + a = 4.88 \text{ m}$ (2.60m, larghezza traversina)

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

Per il calcolo del coefficiente dinamico Φ si fa riferimento al paragrafo 1.4.2 "effetti dinamici" delle istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari.

Per

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

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

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 14 di 42 |

- Coefficiente dinamico $\Phi_3 = 1.35$

Visto che l'altezza della copertura, pari a $H_1 - h_b - 0.175 = 1.78\text{m} > 1$ si adotta una riduzione del coefficiente dinamico.

Nei casi di ponti ad arco o scatolari, con o senza solettone di fondo, aventi copertura "h" maggiore di 1.0 m, il coefficiente dinamico può essere ridotto nella seguente maniera:

$$\Phi_{(2,3),rid} = \Phi_{(2,3)} - \frac{h-1.00}{10} \geq 1.0 \quad (5.2.8)$$

dove h , in metri, è l'altezza della copertura, incluso il ballast, dall'estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse (per i ponti ad arco, dall'estradosso della chiave).

- Coefficiente dinamico ridotto $\Phi_3 = 1.27$

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

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

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

- Per LM71
 - Assi LM71 su scatolare $q_1 = (4 \times 250 \times 1.1) / (B_{1,1} \times B_t) \times \Phi_3 \times (1/\cos\alpha) = 33.10 \text{ kN/m}^2$
 - Coda LM71 su scatolare $q_2 = (80 \times 1.1) / B_t \times \Phi_3 \times (1/\cos\alpha) = 22.97 \text{ kN/m}^2$
- Per SW2 su scatolare $q_3 = (150 \times 1.0) / B_t \times \Phi_3 \times (1/\cos\alpha) = 39.15 \text{ kN/m}^2$

Dal momento che il carico a mq relativo all'LM71 è inferiore a quello dell'SW2, nei calcoli seguenti si fa riferimento solo al treno SW2.

7.4.2 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 $s_{03} = [(150 \times 1.0) / B_t (1/\cos\alpha)] \times K_0 = 11.83 \text{ kN/m}^2$

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 15 di 42 |

7.4.3 Frenatura e avviamento (ENV-FRENAVV)

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

- Avviamento LM71 33 x 1.1 = 36.3 kN/m
- Frenatura SW2 35 x 1.0 = 35 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 Bt vale:

$$Q3 = 36.3 / Bt \times (1/\cos\alpha) = 7.45 \text{ kN/m}$$

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

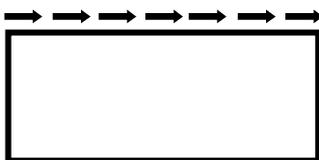


Figura 11 – azione elementare trasversale – ql=1

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.

7.4.4 Centrifuga e serpeggio (Q4)

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

7.4.5 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 , σ , 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 |

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 17 di 42 |

7.5 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

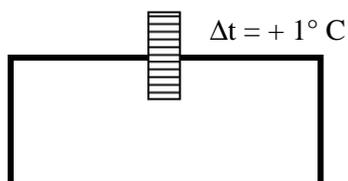


Figura 12 – azione elementare trasversale – DTuni=1

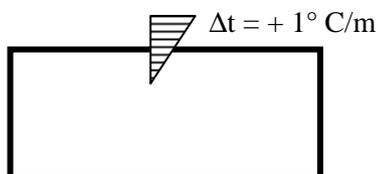


Figura 13 – azione elementare trasversale – DTdiff=1

- DT uni 15°C con ComboType = Abs Add
- DT diff $(5^\circ \text{C/m}) / (\text{sp. Soletta sup.}) = 5 / 0.5 = 10^\circ \text{C}$

| | | |
|--|--|--------------|
|   | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 19 di 42 |

7.7 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 |
|-----------|-----------|--------------|
| 11.045765 | 45.429240 | 0.232 |

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:

$$a_{\max} \approx 0.316 \text{ g}$$

| | | |
|--|--|--------------|
|  ATI bonifica | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 20 di 42 |

$$k_h = a_{\max}/g = 0.316$$

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

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:

$$F_{h1} = (P_{ss} + G_{2,sup} + G_{2,sup,b} + 0.2 \times q_1) k_h = (12.5 + 24 + 14.4 + 0.2 \times 39.2) \times 0.316 = 18.53 \text{ kN/m}$$

Forza Orizzontale sui Piedritti:

$$F_{h2} = P_p \times k_h = 12.50 \times 0.316 = 3.94 \text{ kN/m}$$

SismaV

Per la forza sismica verticale avremo analogamente:

Forza verticale sulla soletta di copertura:

$$F_v = (P_{ss} + G_{2,sup} + G_{2,sup,b} + 0.2 \times q_1) k_v = (12.5 + 24 + 14.4 + 0.2 \times 39.2) \times 0.158 = 9.27 \text{ kN/m}$$

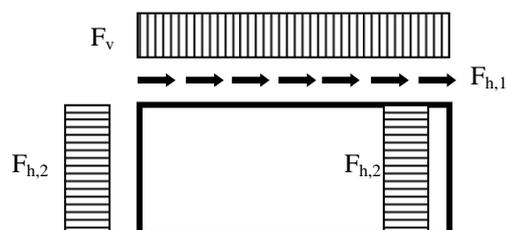


Figura 14 – Forze sismiche agenti sulla struttura

| | | |
|--|--|--------------|
|  ATI bonifica | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | |
| PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 21 di 42 |

7.8 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.

$$\Delta S_E = 0.316 \times 20 \times 4.50^2 = 127.80 \text{ kN/m}$$



Figura 15 – 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:

$$\text{Sovrappinta sismica} = \Delta S_E / H_{\text{tot}} = 28.40 \text{ kN/m/m}$$

8 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_d (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 ψ_{0i} , ψ_{1i} , ψ_{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:

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

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 ψ_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 ψ delle azioni:

| Azioni | | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|----------------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole da traffico | Carico sul rilevato a tergo delle spalle | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| Gruppi di carico | gr_1 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | gr_2 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | - |
| | gr_3 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| | gr_4 | 1,00 | 1,00 ⁽¹⁾ | 0,0 |
| Azioni del vento | F_{Wk} | 0,60 | 0,50 | 0,0 |
| Azioni da neve | in fase di esecuzione | 0,80 | 0,0 | 0,0 |
| | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azioni termiche | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |

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

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

| | Azioni | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------|----------|
| Azioni singole da traffico | Treno di carico LM 71 | 0,80 ⁽³⁾ | (1) | 0,0 |
| | Treno di carico SW /0 | 0,80 ⁽³⁾ | 0,80 | 0,0 |
| | Treno di carico SW/2 | 0,0 ⁽³⁾ | 0,80 | 0,0 |
| | Treno scarico | 1,00 ⁽³⁾ | - | - |
| | Centrifuga | (2) ⁽³⁾ | (2) | (2) |
| | Azione laterale (serpeggio) | 1,00 ⁽³⁾ | 0,80 | 0,0 |

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

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

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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 (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.”

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 COMPRENSIVO DI SPINTE ACCIDENTALI – gr.3 | ENV-TRAFF gr.3 |
| TRAFFICO FERROVIARIO COMPRENSIVO DI SPINTE ACCIDENTALI – gr.4 (PER FESSURAZIONE) | ENV-TRAFF gr.4 |
| TERMICA | ENV-TERMICA |
| RITIRO | ENV-RITIRO |

8.1 Combinazione fondamentale SLU STRUTTURALE

| | 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 |

8.2 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 |

8.3 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 |

8.4 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 |

8.5 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.

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO
IN0D00DI2CLIN0300001A

REV.

Pag 27 di 42

TABLE: Combination Definitions

| ComboName | ComboType | CaseType | CaseName | ScaleFactor |
|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Text | Text | Text | Text | Text |
| ENV-STR.SLU | Envelope | Response Combo | STR.SLU-1 | 1 |
| ENV-STR.SLU | | Response Combo | STR.SLU-2 | 1 |
| ENV-STR.SLU | | Response Combo | STR.SLU-3 | 1 |
| ENV-STR.SLU | | Response Combo | STR.SLU-4 | 1 |
| ENV-SLE.RARA | Envelope | Response Combo | SLE.RARA-1 | 1 |
| ENV-SLE.RARA | | Response Combo | SLE.RARA-2 | 1 |
| ENV-SLE.RARA.FESS | Envelope | Response Combo | SLE.RARA FESS | 1 |
| ENV-SLE.FREQ | Envelope | Response Combo | SLE.FREQ-1 | 1 |
| ENV-SLE.FREQ | | Response Combo | SLE.FREQ-2 | 1 |
| ENV-SLE.QP | Envelope | Response Combo | SLE.Q.P-1 | 1 |

9 MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello del telaio chiuso su letto di molle alla Winkler, realizzato mediante il programma di calcolo SAP2000NL, rappresentante una striscia di carico unitaria di manufatto su cui agiscono i carichi definiti nel paragrafo “Analisi dei Carichi”.

Per il coefficiente di sottofondo, sono stati utilizzati in forma cautelativa i seguenti valori

- Coefficiente di sottofondo orizzontale $k_h = 10000 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente di sottofondo verticale $k_v = 2 * k_h = 20000 \text{ kN/m}^3$

L’interazione terreno struttura viene considerata assegnando ad ogni molla la rigidezza relativa alla sua area di afferenza.

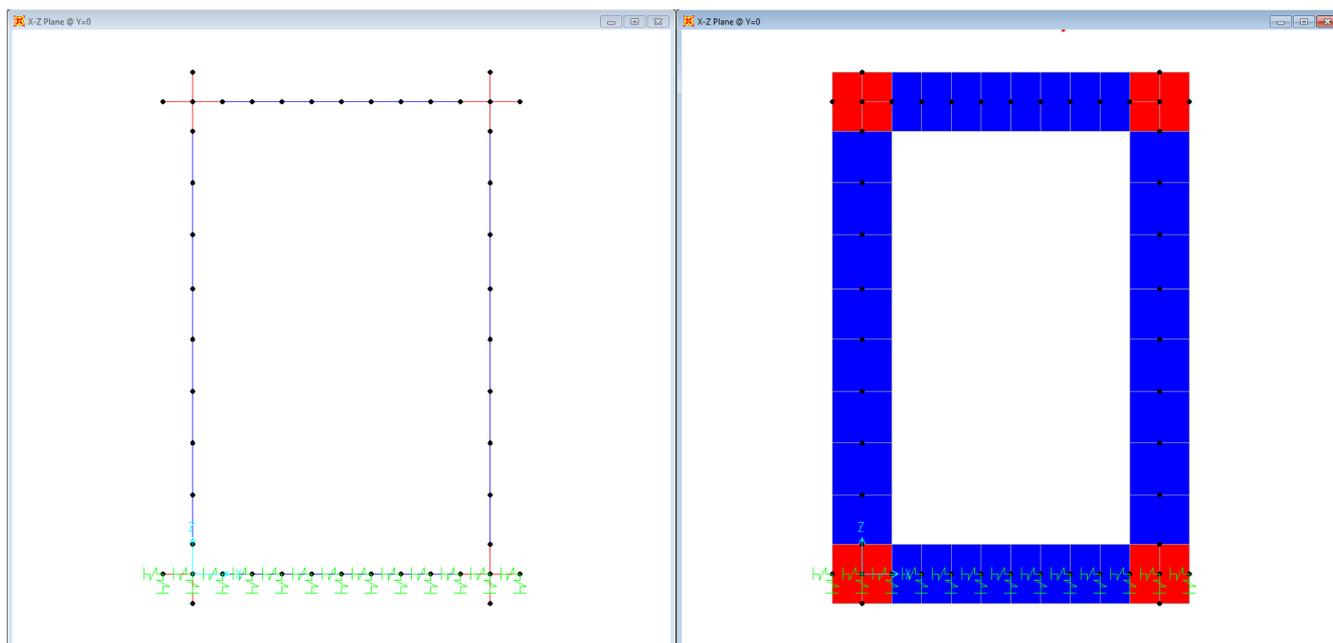


Figura 16 – Modello di calcolo

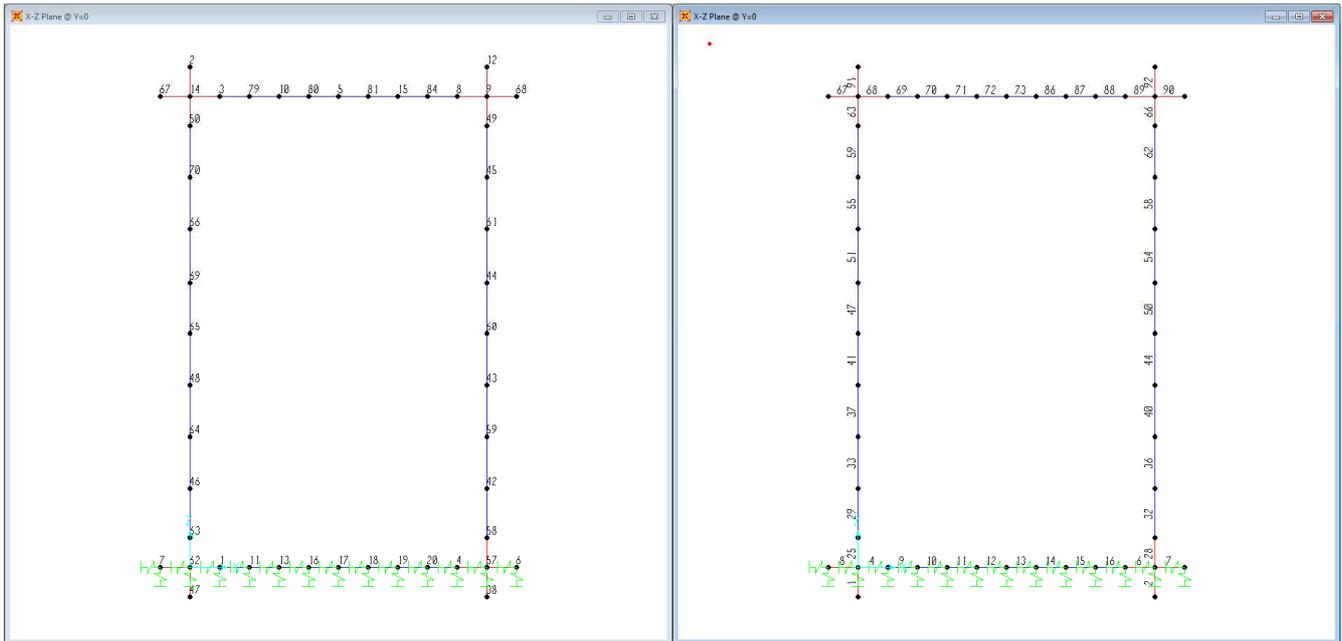


Figura 17 – Numerazione dei nodi e delle aste

| | | | |
|--|--|------|--------------|
|  ATI bonifica | Linea AV/AC VERONA – PADOVA | | |
| | 1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO | | |
| | Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO TOMBINO 2.00 X 3.50 m | | |
| | PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D00DI2CLIN0300001A | REV. | Pag 30 di 42 |

10 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.

10.1 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:

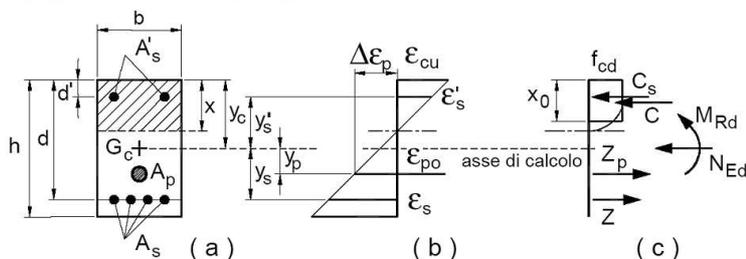
$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad (4.1.9)$$

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.



10.2 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

- Armature esterne $w_{lim} = w_1 = 0.200 \text{ mm}$
- Armature interne $w_{lim} = w_2 = 0.300 \text{ mm}$

10.3 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} | 28 MPa |
| tensione di snervamento acciaio per c.a. | f_{yk} | 450 MPa |

Valori limite delle tensioni

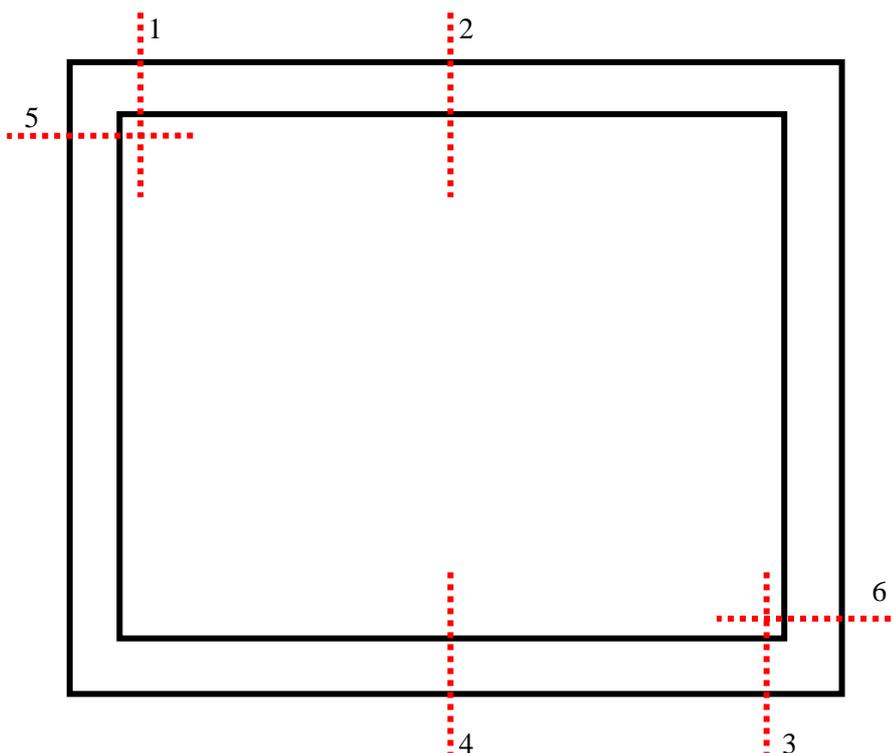
Tensioni di compressione nel calcestruzzo

| | | |
|-----------------------------------|---------------------|----------|
| - per combinazione di carico rara | $0.55 \cdot f_{ck}$ | 15.4 MPa |
| - per combinazione di carico q.p. | $0.40 \cdot f_{ck}$ | 11.2 MPa |

Tensioni di trazione nell'acciaio

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

10.4 Sezioni di verifica



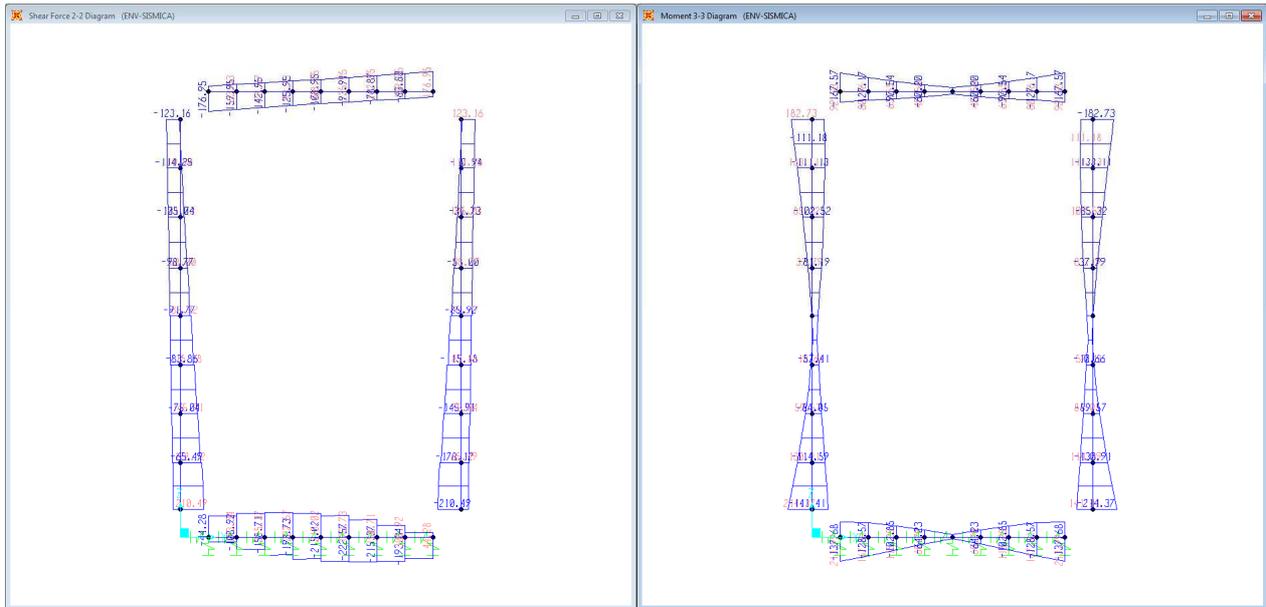


Figura 20 – Taglio e momento flettente – comb. ENV - STR.SISMICA

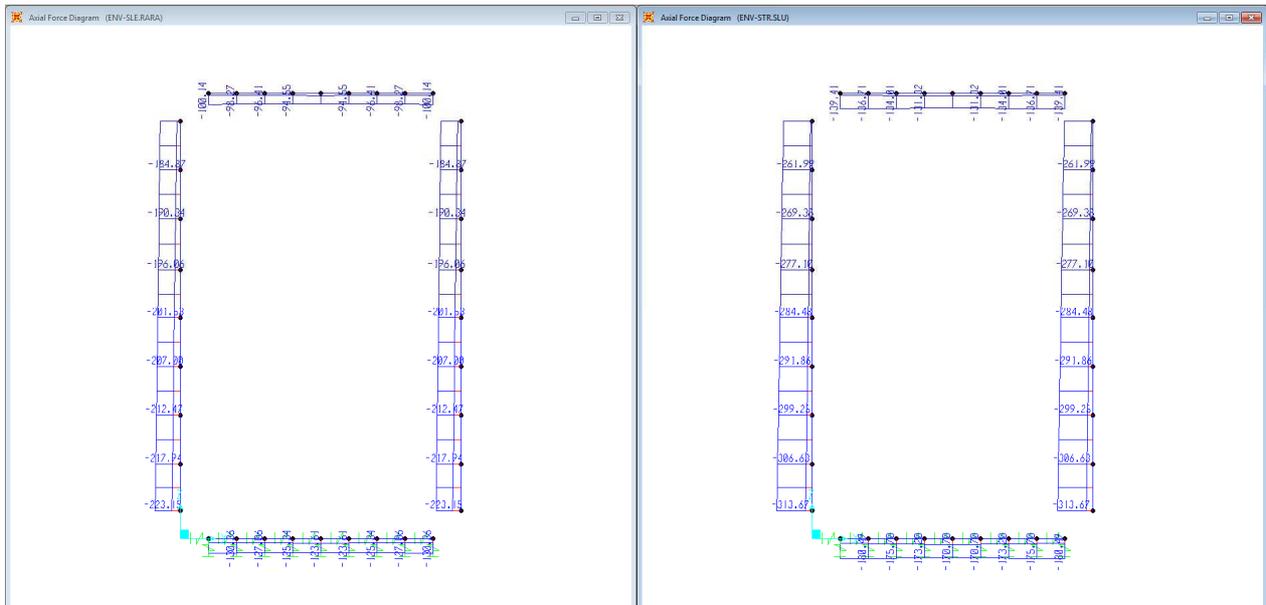
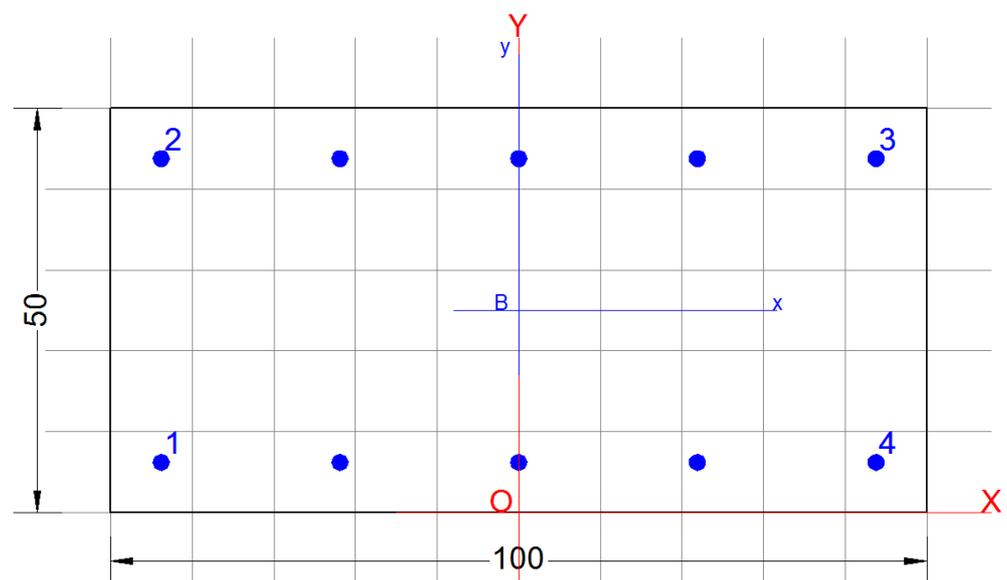


Figura 21 – Sforzo normale – comb. ENV - SLE.RARA e ENV – STR.SLU

10.6 Verifica di sezione

Le sollecitazioni sono simili nelle varie sezioni. Si effettua un'unica verifica valida per tutto il tombino, che viene armato con $\phi 20/20$ interno/esterno.



DATI GENERALI SEZIONE IN C.A. NOME SEZIONE: SS-NO

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|-------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C28/35 |
| | Resis. compr. di calcolo fcd: | 15.860 MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-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 |
| | Coeff. Omogen. S.L.E.: | 15.00 |

| | | |
|--|--------|---------------------|
| Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 140.00 | daN/cm ² |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200 | mm |
| Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.00 | Mpa |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.200 | mm |

| | | |
|-----------|--|-----------------------------|
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.00 MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.00 MPa |
| | Resist. 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 | 2000000 daN/cm ² |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$: | 0.50 |
| | Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 MPa |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C28/35

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 50.0 |
| 3 | 50.0 | 50.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -43.8 | 6.2 | 20 |
| 2 | -43.8 | 43.8 | 20 |
| 3 | 43.8 | 43.8 | 20 |
| 4 | 43.8 | 6.2 | 20 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 2 | 3 | 3 | 20 |
| 2 | 1 | 4 | 3 | 20 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | | |
|----|---|--|--|--|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione) | | | | |
| Mx | Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. | | | | |
| My | Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. | | | | |
| Vy | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y | | | | |
| Vx | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x | | | | |

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|------|---------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | -160.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | -215.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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 | 0.00 | -120.00 | 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 | 0.00 | -120.00 (-133.39) | 0.00 (0.00) |

COMB. QUASI PERMANENTI (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 | 0.00 | -60.00 (-133.39) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | |
|--|---------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.2 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 19.9 cm |

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) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000 |
| As Tesa | Area armature [cm ²] 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 | 0.00 | -160.00 | 0.00 | 0.00 | -259.05 | 0.00 | 1.619 | 15.7(7.0) |
| 2 | S | 0.00 | -215.00 | 0.00 | 0.00 | -259.05 | 0.00 | 1.205 | 15.7(7.0) |

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 |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| 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) |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| 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 compress.) |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00980 | -50.0 | 0.0 | -0.00035 | -43.8 | 6.2 | -0.02368 | 43.8 | 43.8 |
| 2 | 0.00350 | -0.00980 | -50.0 | 0.0 | -0.00035 | -43.8 | 6.2 | -0.02368 | 43.8 | 43.8 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | |
|---------|--|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi) |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|--------------|-------------|-------|--------|
| 1 | 0.000000000 | -0.000620576 | 0.003500000 | 0.129 | 0.700 |
| 2 | 0.000000000 | -0.000620576 | 0.003500000 | 0.129 | 0.700 |

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 ²] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| As eff. | Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |
| D barre | Distanza tra 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 | 4.49 | 50.0 | 0.0 | -192.7 | 21.9 | 43.8 | 1854 | 15.7 | 21.9 | 1.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 4.49 | 50.0 | 0.0 | -192.7 | 21.9 | 43.8 | 1854 | 15.7 | 21.9 | 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 fctm |
| S1 | Esito della verifica |
| S2 | Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata |
| k2 | Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area Ac eff |
| k3 | = 0.4 per barre ad aderenza migliorata |
| Ø | = (S1 + S2)/(2*S1) con riferimento all'area tesa Ac eff |
| Cf | Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff |
| Psi | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa |
| e sm | = 1-Beta12*(Ssr/Ss) ² = 1-Beta12*(fctm/S2) ² = 1-Beta12*(Mfess/M) ² [B.6.6 DM96] |
| sm | Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = 0.4*Ss/Es è tra parentesi |
| wk | Distanza media tra le fessure [mm] |
| MX fess. | Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = 1.7 * e sm * sm . 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 | sm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|--------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -2.5 | -0.6 | 0.154 | 20 | 52.0 | -0.236 | 0.00039 (0.00039) | 293 | 0.192 (0.20) | -133.39 | 0.00 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 2.25 | 50.0 | 0.0 | -96.4 | 21.9 | 43.8 | 1854 | 15.7 | 21.9 | 0.50 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

| Comb. | Ver | S1 | S2 | k3 | Ø | Cf | Psi | e sm | sm | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|--------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1 | S | -1.2 | -0.3 | 0.154 | 20 | 52.0 | -1.471 | 0.00019 (0.00019) | 293 | 0.096 (0.20) | -133.39 | 0.00 |

10.7 Verifica a taglio

Si ha un taglio massimo di 220 kN alla base del piedritto e in soletta inferiore. La resistenza del cls non è sufficiente. Si inseriscono quindi spille a taglio $\phi 10/20/40$.

Verifica a taglio in accordo a EC2-2

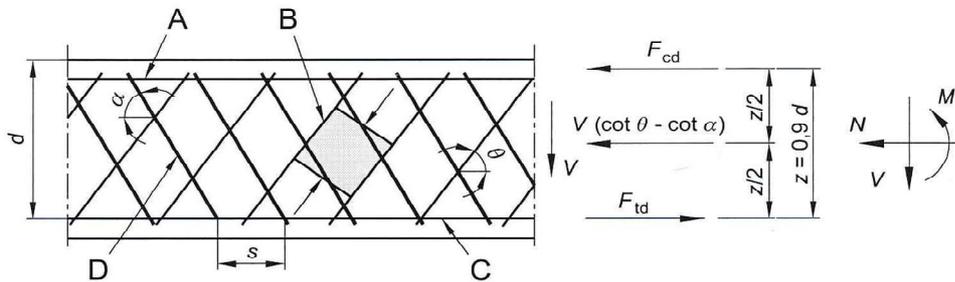
| Materiali | | | |
|---------------------------------|-------|----------------|---|
| <u>Calcestruzzo</u> | | | |
| fck= | 28 | MPa | |
| γ_c = | 1.50 | | |
| fcm= | 36 | MPa | |
| α_{cc} = | 0.85 | | coefficiente che tiene conto degli effetti a lungo termine, var 0.8-1 |
| fcd= | 16 | MPa | |
| fctm= | 2.77 | MPa | |
| fctk _{0.05} = | 1.94 | MPa | |
| fctk _{0.95} = | 3.60 | MPa | |
| α_{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 | |
| γ_s = | 1.15 | | |
| fyd= | 391 | MPa | |
| <u>Sollecitazioni di Taglio</u> | | | |
| | | γ | |
| Gk | 0 | x1.00= | 0 kN |
| Pk | 0 | x1.00= | 0 kN |
| Qk | 0 | x1.00= | 0 kN |
| Aed | 220 | x1.00= | 220 kN |
| | | V_{Ed} = | 220 kN |
| Nsd= | 0 | KN | sforzo normale |
| bw = | 1.000 | m | larghezza (6.16) |
| h= | 0.500 | m | altezza totale |
| c= | 0.070 | m | copriferro |
| d = | 0.430 | m | altezza utile |
| Ac= | 0.50 | m ² | area |

elementi CA e CAP senza armature trasversali resistenti a taglio

| | | | | Armatura longitudinale tesa | | |
|---------------------|-------|-----|--|-----------------------------|------------|---|
| | | | | n | φ [mm] | area |
| C_{Rd} | 0.12 | MPa | $=0.18/\gamma_c$ | | | |
| k | 1.68 | | $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$ with d in mm | 5.00 | 20 | 15.71 |
| k_1 | 0.15 | | | | 0 | 0.00 |
| ρ_l | 0.004 | | $=A_{sl}/(b_w d)$ | | 0 | 0.00 |
| | | | | | $A_{sl} =$ | 15.71 cmq |
| σ_{cp} | 0.00 | | $=N_{sd}/A_c < 0.2f_{cd} =$ | 3.17 MPa | | |
| v_{min} | 0.40 | | $=0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$ | | | |
| Resistenza a taglio | | | | | | |
| | | | | | | $V_{Rd,c}(\min) = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 173.7$ |
| $V_{Rd,c}$ | 188.4 | kN | con: | | | $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = 188.4$ |
| V_{Ed} | 220.0 | | maggiore di | $V_{Rd,c} =$ | 188.4 | ====>aumentare l'armatura |

elementi CA e CAP armati a taglio

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



Resistenza lato acciaio (staffe)

| | | | | |
|--------------------------|------|-------|---|--|
| $\phi_w =$ | 10 | mm | diametro staffa | |
| $n =$ | 2.50 | | numero braccia | |
| $A_{sw} =$ | 1.96 | cmq | | |
| $z =$ | 0.39 | m | $= 0.9 \cdot d$ | |
| $\sin \alpha =$ | 1 | | α angolo tra le staffe e l'asse della trave ($\alpha = 90^\circ$ per staffe verticali) | |
| $\rho_w =$ | 0.10 | % | $= A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \cdot 100 \geq$ | 0.09 % $= (0.08 \cdot \text{radq}(f_{ck})) / f_{yk} \cdot 100$ |
| $s =$ | 0.2 | m | $= \text{passo staffe} \leq$ | 0.32 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° e 21.8° | |
| $\tan \theta =$ | 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 | |
| $\rho_{w, \max} =$ | 0.38 | = | $A_{sw, \max} \cdot f_{yd} / (b_w \cdot s) \leq 1/2 \cdot \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} =$ | 4.23 verifica soddisfatta |
| $A_{sw/s, \text{ins}} =$ | 9.82 | cmq/m | area staffe inserita | |
| $V_{Rd, s} =$ | 372 | 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 | | | |
| $V_{Rd, \max} =$ | 1128 | 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) | |
| $V_{Rd} =$ | 372 | kN | $= \min(V_{Rd, s}, V_{Rd, \max}) / \gamma_{Bd1}$ | |

$V_{Ed} = 220$

minore o uguale di

$V_{Rd} = 372$ **verifica soddisfatta**