

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

### PROGETTO DEFINITIVO

### POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA

### INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA

#### OPERE MINORI

Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura

SCALA:

-

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

I R 0 B 0 2 D 1 0 C L I N 0 2 0 0 0 0 1 A

| Rev. | Descrizione         | Redatto        | Data        | Verificato     | Data        | Approvato       | Data        | Autorizzato Data              |
|------|---------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
| A    | Emissione esecutiva | L. Dinelli<br> | Luglio 2020 | S. Paoloni<br> | Luglio 2020 | T. Paoletti<br> | Luglio 2020 | L. Berardi<br>Luglio 2020<br> |
|      |                     |                |             |                |             |                 |             |                               |
|      |                     |                |             |                |             |                 |             |                               |
|      |                     |                |             |                |             |                 |             |                               |

File : IROB.02.D.10.CL.IN02.000.01.A.doc

n. Elab.:

## Indice

|       |                                                                          |           |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1     | PREMESSA .....                                                           | 4         |
| 1.1   | DESCRIZIONE DELL'OPERA .....                                             | 5         |
| 2     | NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....                                            | 7         |
| 3     | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....                           | 9         |
| 3.1   | CALCESTRUZZO .....                                                       | 9         |
| 3.2   | ACCIAIO DI ARMATURA – BARRE .....                                        | 9         |
| 4     | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....                                       | 11        |
| 5     | CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....                                           | 13        |
| 6     | CRITERI DI VERIFICA.....                                                 | 14        |
| 6.1   | CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....                            | 14        |
| 6.2   | VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE - PRESSOFLESSIONE..... | 14        |
| 6.2.1 | <i>Verifica agli stati limite ultimi a taglio .....</i>                  | <i>14</i> |
| 6.3   | VERIFICHE SLE .....                                                      | 16        |
| 6.3.1 | <i>Verifiche alle tensioni.....</i>                                      | <i>16</i> |
| 6.3.2 | <i>Verifiche a fessurazione .....</i>                                    | <i>17</i> |
| 7     | MODELLO DI CALCOLO .....                                                 | 19        |
| 8     | PROGETTO E VERIFICA DELLA SEZIONE 1.....                                 | 20        |
| 8.1   | ANALISI DEI CARICHI.....                                                 | 20        |
| 8.1.1 | <i>PESO PROPRIO (DEAD).....</i>                                          | <i>20</i> |
| 8.1.2 | <i>SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM).....</i>                               | <i>20</i> |
| 8.1.3 | <i>CARICHI VARIABILI.....</i>                                            | <i>20</i> |
| 8.2   | CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI .....                             | 22        |
| 8.2.1 | <i>CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI.....</i>                              | <i>22</i> |
| 8.2.2 | <i>COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA .....</i>              | <i>23</i> |

|        |                                                             |    |
|--------|-------------------------------------------------------------|----|
| 8.3    | SOLLECITAZIONI E VERIFICHE .....                            | 23 |
| 9      | PROGETTO E VERIFICA DELLA SEZIONE 2 .....                   | 30 |
| 9.1    | ANALISI DEI CARICHI .....                                   | 30 |
| 9.1.1  | <i>PESO PROPRIO (DEAD)</i> .....                            | 30 |
| 9.1.2  | <i>SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)</i> .....                 | 30 |
| 9.1.3  | <i>CARICHI VARIABILI</i> .....                              | 30 |
| 9.2    | CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI .....                | 34 |
| 9.2.1  | <i>CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI</i> .....                | 34 |
| 9.2.2  | <i>COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA</i> ..... | 34 |
| 9.3    | SOLLECITAZIONI E VERIFICHE .....                            | 35 |
| 10     | PROGETTO E VERIFICA DELLA SEZIONE 3 .....                   | 41 |
| 10.1   | ANALISI DEI CARICHI .....                                   | 41 |
| 10.1.1 | <i>PESO PROPRIO (DEAD)</i> .....                            | 41 |
| 10.1.2 | <i>SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)</i> .....                 | 41 |
| 10.1.3 | <i>CARICHI VARIABILI</i> .....                              | 41 |
| 10.2   | CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI .....                | 42 |
| 10.2.1 | <i>CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI</i> .....                | 42 |
| 10.2.2 | <i>COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA</i> ..... | 42 |
| 10.3   | SOLLECITAZIONI E VERIFICHE .....                            | 43 |
| 11     | INCIDENZE .....                                             | 48 |

|                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                           |                        |                            |                                       |                      |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO<br/>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA<br/>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL<br/>PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b></p> |                        |                            |                                       |                      |                              |
| <p><b>Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura</b></p>                                                                        | <p>COMMESSA</p> <p>IR0B</p>                                                                                                                                               | <p>LOTTO</p> <p>02</p> | <p>CODIFICA</p> <p>D10</p> | <p>DOCUMENTO</p> <p>CL IN0200 001</p> | <p>REV.</p> <p>A</p> | <p>FOGLIO</p> <p>4 di 48</p> |

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto Potenziamento della linea Foligno–Terontola, rientrano gli interventi di semplificazione e velocizzazione ed upgrade tecnologico presso la stazione di Ellera. Le attività prevedono la velocizzazione degli itinerari in deviata, l'adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione e l'upgrading tecnologico dell'impianto esistente ACEI in un più moderno apparato ACC.

Il Programma di Esercizio fornito come input prevede interventi di semplificazione e velocizzazione dei deviatoidell'impianto. In particolare si effettuano le seguenti lavorazioni:

- Sostituzione delle comunicazioni esistenti a 30 km/h con comunicazioni a 60 km/h lato Foligno. La sostituzione era prevista anche per i deviatoid lato Terontola ma è stato deciso successivamente da RFI di mantenere l'attuale velocità per le comunicazioni lato Terontola
- Realizzazione di tronchini di indipendenza per i binari di precedenza
- Ampliamento del marciapiede al servizio dei binari II e futuro III, accessibile attraverso un nuovo sottopasso, e adeguamento a STI del marciapiede esistente
- Dismissione dei binari di scalo lato F.V. e della relativa comunicazione di accesso posta sul I binario

Per la stazione di Ellera è inoltre previsto, come detto in precedenza, l'upgrade tecnologico dell'attuale apparato (con ACC telecomandabile) e conseguente riconfigurazione del Posto Centrale.

L'inizio dell'intervento è previsto alla progressiva Km 49+050 circa e termina alla progressiva Km 49+900 circa.

E' prevista la modifica dell'attuale PRG di stazione allo schematico comunicato dal Cliente, la realizzazione di un nuovo sottopasso e dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), innalzamento del marciapiede del binario I H=55cm e realizzazione di un nuovo marciapiede ad isola H=55cm. Inoltre verrà prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale.

Verranno previste due nuove pensiline ferroviarie su ciascun marciapiede a copertura del nuovo sottopasso.

Le suddette modifiche al PRG di stazione comportano la necessità di demolire e ricostruire il cavalcaferrovia di Via Corcianese.

Verrà previsto un nuovo Fabbricato Tecnologico per ospitare la cabina ACC, i locali tecnologici e la Cabina MT/BT, quest'ultima necessaria per una migliore gestione dei carichi elettrici presenti in stazione.

Saranno previsti infine, dal punto di vista impiantistico:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, sottopasso, banchine
- impianti IaP e DS



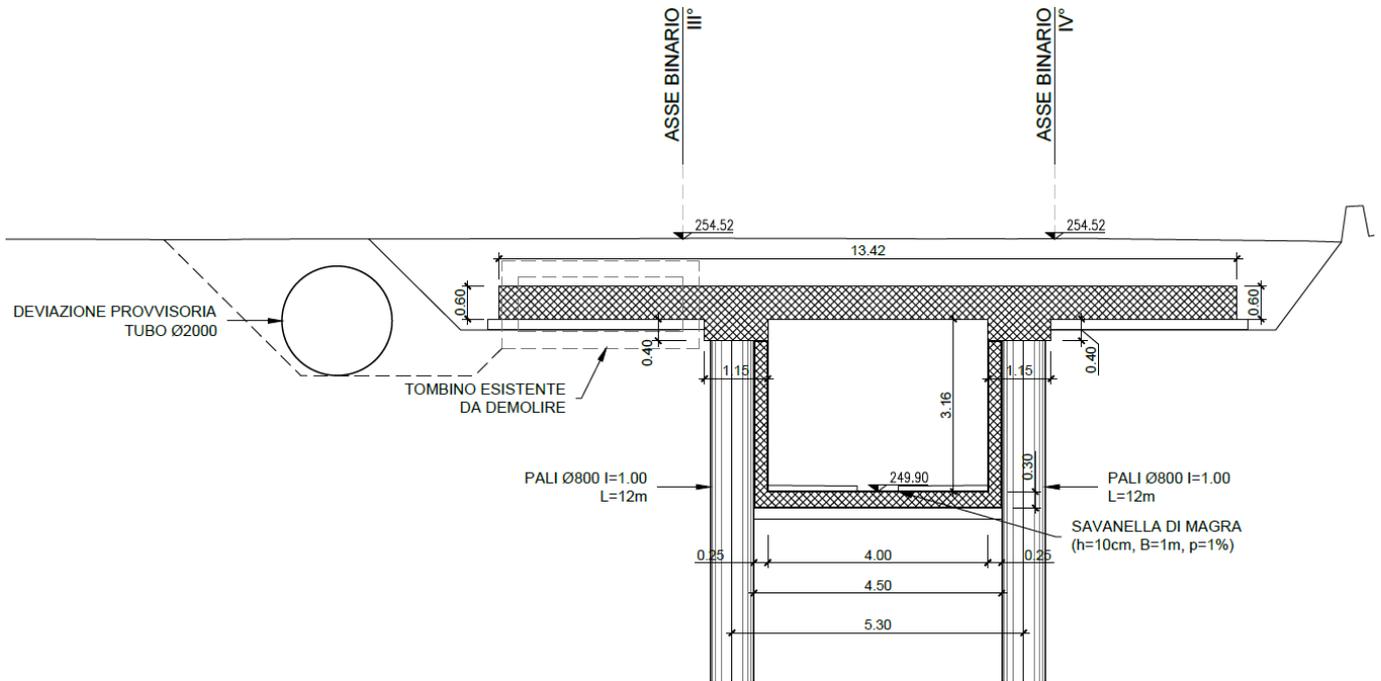


Figura 2 – Sezione 2: binari ferroviari

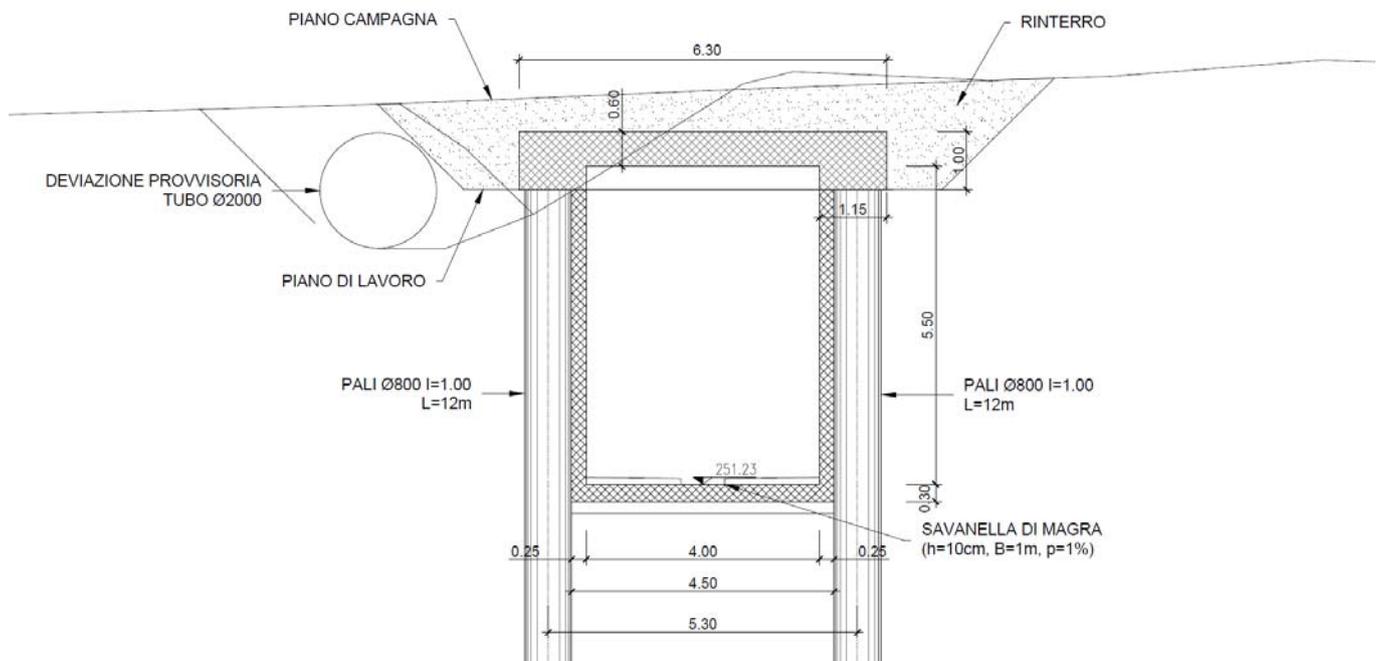


Figura 3 – Sezione 3: sezioni generica

|                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                           |                     |                         |                                    |                   |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p><b>PROGETTO DEFINITIVO<br/>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA<br/>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL<br/>PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b></p> |                     |                         |                                    |                   |                           |
| <p><b>Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura</b></p>                                                                        | <p>COMMESSA<br/>IR0B</p>                                                                                                                                                  | <p>LOTTO<br/>02</p> | <p>CODIFICA<br/>D10</p> | <p>DOCUMENTO<br/>CL IN0200 001</p> | <p>REV.<br/>A</p> | <p>FOGLIO<br/>7 di 48</p> |

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le seguenti normative.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture ( RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016 )
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A– rev 30/12/2016)
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

- UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili.
- UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.

- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1 UNI 11104/2016;
- RFI DTC SI MA IFS 001 D – Dicembre 2019: Manuale di progettazione delle opere civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 D – Dicembre 2019: Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – RFI;
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

### **3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

#### **3.1 CALCESTRUZZO**

##### Soletta

Classe di resistenza = C32/40

$\gamma_c$  = peso specifico = 25.00 kN/m<sup>3</sup>

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 40.00 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica =  $0.83 \cdot R_{ck} = 33.2$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8 = 41.2$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media =  $0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.10$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{cfm}$  = resistenza a traz. per flessione media =  $1.20 \cdot f_{ctm} = 3.72$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk}$  = resistenza a traz. per flessione caratt. =  $0.70 \cdot f_{cfm} = 2.60$  N/mm<sup>2</sup>

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e  $0.40 f_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 33642.8$  N/mm<sup>2</sup>

Classe minima di consistenza S4

Classe di esposizione XC4

Copriferro 40 mm

#### **3.2 ACCIAIO DI ARMATURA – BARRE**

Tipo = B 450 C

$\gamma_a$  = peso specifico = 78.50 kN/m<sup>3</sup>

$f_{y\ nom}$  = tensione nominale di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{t\ nom}$  = tensione nominale di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk\ min}$  = minima tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk\ min}$  = minima tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$(f_t/f_y)_{k\ min}$  = minimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.15

$(f_t/f_y)_{k\ max}$  = massimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.35

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 10 di 48 |

$(f_y/f_{y\text{ nom}})_k =$  massimo rapporto tra i valori nominali = 1.25

$(A_{gt})_k =$  allungamento caratteristico sotto carico massimo = 7.5 %

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm<sup>2</sup>

Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:

$\varnothing < 12$  mm → 4  $\varnothing$ ;

$12 \leq \varnothing \leq 16$  mm → 5  $\varnothing$ ;

$16 < \varnothing \leq 25$  mm → 8  $\varnothing$ ;

$25 < \varnothing \leq 40$  mm → 10  $\varnothing$ .

#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dal punto di vista geotecnico le unità che caratterizzano le stratigrafia di progetto sono le seguenti:

- R: materiale di riporto;
- T1 e T2: travertino fratturato, ghiaie e sabbie. Seppur geologicamente accomunate in un'unica litologia (PGL3a), dal punto di vista geotecnico si è preferito operare la suddivisione nelle due unità indicate sulla base della risposta ottenuta dalle prove SPT e da quelle geofisiche. Inoltre, considerando l'elevato stato di fratturazione e alterazione descritto nei report stratigrafici, per il travertino è stato cautelativamente assunto un approccio di caratterizzazione da terreno sabbioso (grana grossa);
- LA: limi, limi argillosi, limi sabbiosi e argille con locali intercalazioni di sabbie e ghiaie. Rappresenta l'unità geologica PGU1a.

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio ha condotto alla definizione dei seguenti valori dei parametri meccanici per i terreni tipo individuati:

| Unità     | $\gamma$        | $\varphi'$ | $c'$   | $c_u$     | $G_0$     | $E_{op}$ | $k$           |
|-----------|-----------------|------------|--------|-----------|-----------|----------|---------------|
|           | $\text{kN/m}^3$ | (°)        | (kPa)  | (kPa)     | (MPa)     | (MPa)    | (m/s)         |
| <b>T1</b> | 19.0            | 32÷35      | 0      | -         | 95 ÷ 200  | 20 ÷ 50  | 1E-04 ÷ 1E-05 |
| <b>T2</b> | 19.0            | 34÷38      | 0      | -         | 175 ÷ 310 | 40 ÷ 75  | 1E-04 ÷ 1E-05 |
| <b>LA</b> | 20.0            | 22÷24      | 5 ÷ 10 | 100 ÷ 250 | 350 ÷ 500 | 85 ÷ 120 | 1E-07 ÷ 1E-08 |

La stratigrafia è stata dedotta in base ai risultati del sondaggio DPSH3 situato proprio in corrispondenza del fosso.



*Figura 4 - Ubicazione indagini di fase PD - Google Earth*

I dati della falda libera indicano un livello piezometrico che si attesta a circa 7.0 m dal piano campagna.

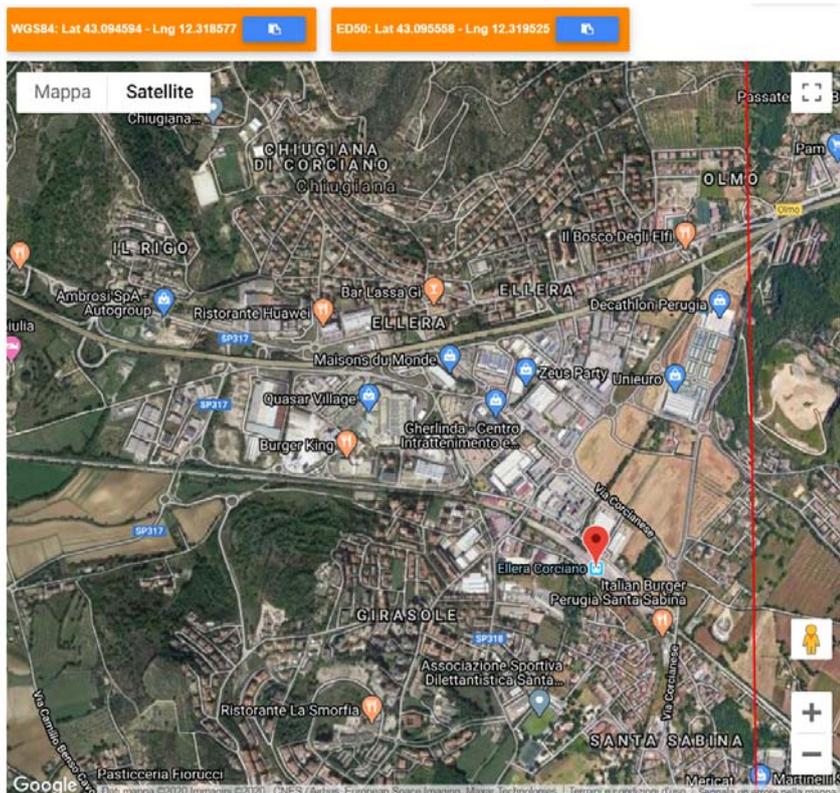
| strato | profondità da | profondità a |
|--------|---------------|--------------|
|        | m da pc       | m da pc      |
| R      | 0             | 1.0          |
| T1     | 1.0           | 9.0          |
| T2     | 9.0           | 24.0         |
| LA     | 24.0          | -            |

*Tabella 1 – Stratigrafia di calcolo Materiali in sito*

Dal punto di vista sismico il terreno è classificato di tipo B.

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La determinazione dell'azione sismica è stata svolta sulla base della normativa vigente con l'utilizzo del software freeware di geostru "Parametri Sismci". Tale software in funzione delle coordinate del sito, della vita utile e della categoria di sottosuolo fornisce i parametri sismici necessari alla definizione delle azioni sismiche.



### Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

**CU = 1**

| Stato Limite                                 | Tr [anni] | $a_g$ [g] | $F_o$ | $T_c^*$ [s] |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO)                            | 30        | 0.059     | 2.505 | 0.268       |
| Danno (SLD)                                  | 50        | 0.073     | 2.493 | 0.277       |
| Salvaguardia vita (SLV)                      | 475       | 0.172     | 2.438 | 0.307       |
| Prevenzione collasso (SLC)                   | 975       | 0.214     | 2.461 | 0.316       |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50        |           |       |             |



Cat. Sottosuolo

B



Cat. Topografica

T1

|                                 | SLO  | SLD  | SLV  | SLC  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,19 |
| CC Coeff. funz categoria        | 1,43 | 1,42 | 1,39 | 1,38 |
| ST Amplificazione topografica   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

|                                                                                 |                                                                                                                                                                                      |             |                 |                            |           |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
|  | <b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA</b><br><b>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL</b><br><b>PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b> |             |                 |                            |           |                    |
| <b>Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura</b>               | COMMESSA<br>IR0B                                                                                                                                                                     | LOTTO<br>02 | CODIFICA<br>D10 | DOCUMENTO<br>CL IN0200 001 | REV.<br>A | FOGLIO<br>14 di 48 |

Si nota che l'azione sismica non viene considerata nel modello di calcolo in quanto risulta poco determinante per il dimensionamento dell'opera in esame.

## 6 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

### 6.1 Criteri di verifica delle sezioni in c.a.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

### 6.2 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione - pressoflessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

#### 6.2.1 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

- resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio:

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

- valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento:

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

- valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)$$

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

con d in mm;

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02;$$

$A_{s1}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd}$$

;

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

;

$$1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2,5$$

è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave;

$A_{sw}$

è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

s è il passo delle staffe;

$f_{ywd}$

è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;

$$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$$

è la resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;

$$\alpha_{cw} = 1$$

è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$\sigma_c < 0.55 f_{ck}$  per combinazione di carico caratteristica (rara);

$\sigma_c < 0.40 f_{ck}$  per combinazione di carico quasi permanente;

$\sigma_s < 0.75 f_k$  per combinazione di carico caratteristica (rara).

Nel secondo caso, si assume che le condizioni ambientali del sito in cui sorge l'opera siano ordinarie e aggressive, rispettivamente per la zattera di fondazione e per il paramento verticale, e si verifica che il valore limite di apertura della fessura, calcolato per armature poco sensibili, sia al più pari ai seguenti valori nominali:

$w_1 = 0.2$  mm per condizioni ambientali aggressive (comb. Frequente e quasi permanente);

$w_2 = 0.3$  mm per condizioni ambientali ordinarie (comb. Frequente e quasi permanente).

### 6.3 Verifiche SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato

#### 6.3.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Manuale di progettazione opere civili"

### Strutture in c.a.

#### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

#### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$

Per il caso in esame risulta in particolare:

- Soletta:

#### CALCESTRUZZO

$$\sigma_{\max QP} = (0,40 f_{cK}) = 12.8 \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\max R} = (0,55 f_{cK}) = 17.6 \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

#### ACCIAIO

$$\sigma_s \max = (0,75 f_{yK}) = 337.5 \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

#### 6.3.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

| Gruppi di esigenza | Condizioni ambientali | Combinazione di azione | Armatura     |           |                |           |
|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------|-----------|----------------|-----------|
|                    |                       |                        | Sensibile    |           | Poco sensibile |           |
|                    |                       |                        | Stato limite | wd        | Stato limite   | wd        |
| a                  | Ordinarie             | frequente              | ap. fessure  | $\leq w2$ | ap. fessure    | $\leq w3$ |

|   |                  |                  |                    |     |             |     |
|---|------------------|------------------|--------------------|-----|-------------|-----|
|   |                  | quasi permanente | ap. fessure        | ≤w1 | ap. fessure | ≤w2 |
| b | Aggressive       | frequente        | ap. fessure        | ≤w1 | ap. fessure | ≤w2 |
|   |                  | quasi permanente | decompressione     | -   | ap. fessure | ≤w1 |
| c | Molto Aggressive | frequente        | formazione fessure | -   | ap. fessure | ≤w1 |
|   |                  | quasi permanente | decompressione     | -   | ap. fessure | ≤w1 |

| 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      |

Tabella 2– Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali.

Risultando:

$$w1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dalle specifiche RFI (Manuale di progettazione delle opere civili parte II sezione 2 – Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

Combinazione Caratteristica (Rara)

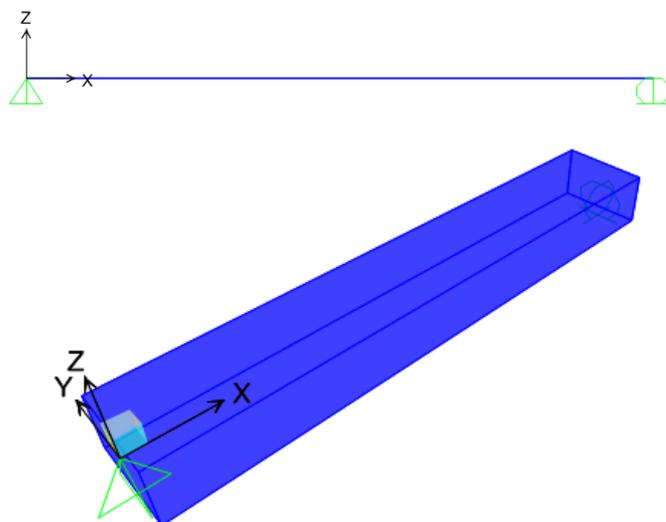
Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura prevista al punto " C4.1.2.2.4.5 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.7/19.

## 7 MODELLO DI CALCOLO

Come modello di calcolo (si vedano le Figure successive) si è assunto lo schema statico di trave appoggiata, analizzato attraverso un'analisi elastico – lineare attraverso il programma di calcolo agli Elementi Finiti SAP2000 v.20.0.0 della Computers and Structures.

In particolare si analizza una fascia di soletta profonda 1 metro. Si assume una lunghezza pari all'interasse tra le paratie di pali affacciati, che risulta 5.30 m. Lo spessore della sezione di verifica è invece 0,60m.

Di seguito si riportano le immagini del modello di calcolo assunto per tutte le sezioni investigate.



*Figura 5 – Modello di calcolo.*

## 8 PROGETTO E VERIFICA DELLA SEZIONE 1

### 8.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 8.1.1 PESO PROPRIO (DEAD)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato pari a  $\gamma = 25.00\text{kN/m}^3$ . Questo è computato in automatico dal software di calcolo utilizzato.

#### 8.1.2 SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)

Il carico permanente è determinato dal massetto in misto cementato e dalla pavimentazione stradale.

|                             | Spessore [m] | Peso [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Massetto in misto cementato | 0.3          | 24                        | 7.2                       |
| Pavimentazione stradale     | 0.5          | 21                        | 10.5                      |

Frame Distributed Loads (PERM)



Figura 6 – Carico permanente.

#### 8.1.3 CARICHI VARIABILI

##### 8.1.3.1 SOVRACCARICHI MOBILI (STRADALE)

Il tipo di sovraccarico mobile preso in considerazione è quello relativo allo schema di carico 1, nella configurazione maggiormente gravosa di corsia n.1. Tale carico è costituito da due forze concentrate pari a 300 kN ciascuna, disposte ad una distanza l'una dall'altra pari a 1.2 m in direzione longitudinale alla carreggiata e 2,00m in direzione

trasversale alla carreggiata. In aggiunta alle due forze concentrate va disposto un carico uniformemente distribuito su tutta la struttura, pari a  $9 \text{ kN/m}^2$ .

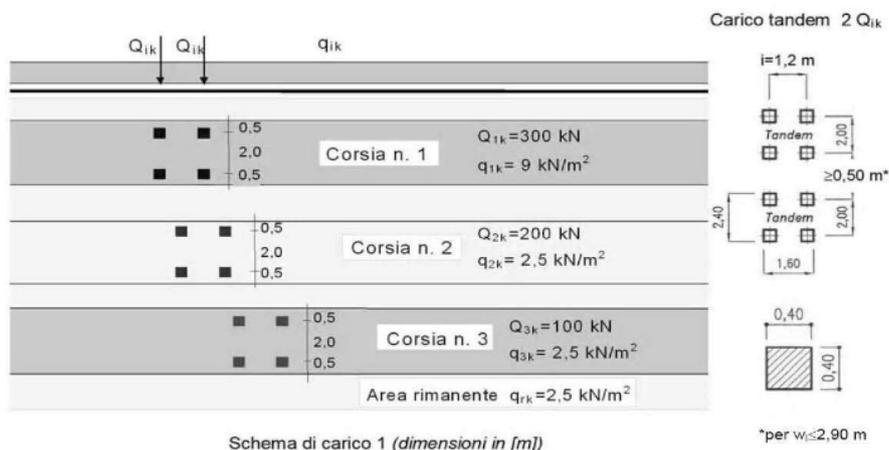


Figura 7 – Schema di carico 1 – NTC2018.

### 8.1.3.2 LARGHEZZA DI DIFFUSIONE TRASVERSALE E LONGITUDINALE

La diffusione trasversale e longitudinale dei carichi è stata effettuata, a partire dal punto di applicazione delle forze concentrate, nell'ipotesi di ripartizione nella pavimentazione, nel massetto e nella soletta con i rapporti di seguito indicati:

|                         | ai |   | bi |
|-------------------------|----|---|----|
| Pavimentazione stradale | 1  | : | 1  |
| Massetto                | 1  | : | 1  |
| Soletta                 | 1  | : | 1  |

$ss = 0.60 \text{ m}$  : spessore della soletta

$sm = 0.30 \text{ m}$  : spessore del massetto

$sp = 0.50 \text{ m}$  : spessore della pavimentazione

$L_{tr} = 2.00 \text{ m}$  : distanza tra le forze in direzione trasversale

$L_{lon} = 1.20 \text{ m}$  : distanza tra le forze in direzione trasversale

Diffusione trasversale

$$L_{dt} = L_{tr} + 2 \cdot (sp \cdot bp / ap + sm \cdot bm / am) + 2 \cdot (ss/2) \cdot bs / as = 4.20 \text{ m}$$

Diffusione longitudinale

$$Ldl = Llong + 2 \cdot (sp \cdot bp / ap + sm \cdot bm / am) + 2 \cdot (ss/2) \cdot bs / as = 3.40 \text{ m}$$

Il carico applicato alla struttura è ottenuto a partire dalle due forze concentrate e ripartito nelle direzioni trasversale e longitudinale:

$$q_{forze} = 2 \cdot Q_k / (Ldt + Ldl) = 2 \cdot 300 / (4.20 + 3.4) = 42 \text{ kN/m}^2$$

Tale carico va poi sommato a quello distribuito su tutta la lunghezza della trave pari a 9 kN/m<sup>2</sup>.

Per massimizzare il momento in mezzera si applica il massimo carico al centro della trave, mentre per massimizzare il taglio si colloca in corrispondenza dell'appoggio sinistro.

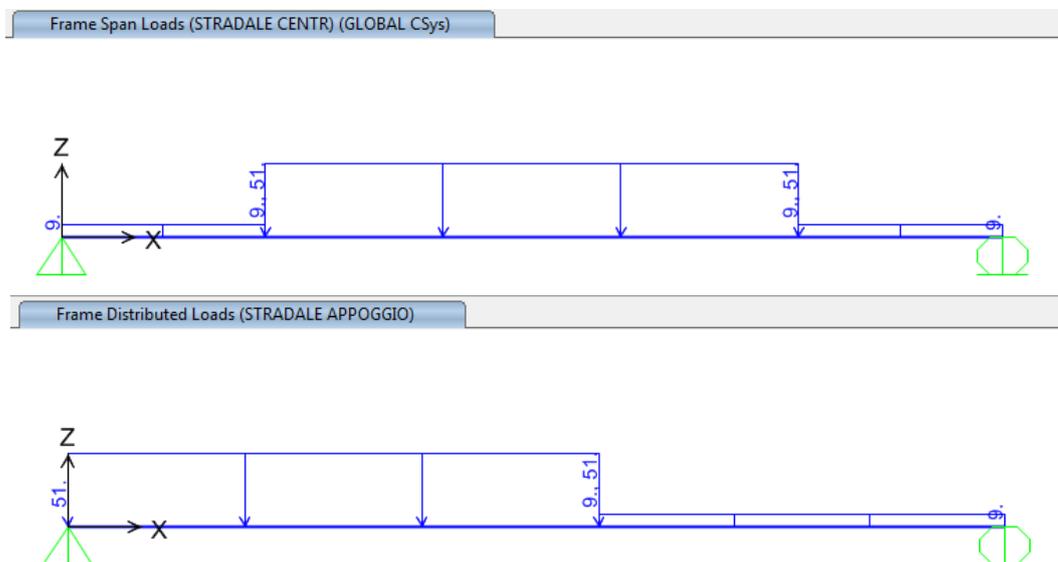


Figura 8 – Carico stradale.

## 8.2 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

### 8.2.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

|                   |                                               |
|-------------------|-----------------------------------------------|
| DEAD              | PESO PROPRIO                                  |
| PERM              | CARICHI PERMAMENTI (pav. stradale + massetto) |
| STRADALE CENTRATO | CARICO VARIABILE CENTRATO                     |
| STRADALE APPOGGIO | CARICO VARIABILE ALL'APPOGGIO                 |

### 8.2.2 COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA

Per massimizzare il momento in mezzera si considerano le seguenti combinazioni SLU e SLE:

|                   | SLU1 | SLE RARA 1 | SLE FREQ 1 | SLE QPE 1 |
|-------------------|------|------------|------------|-----------|
| DEAD              | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| PERM              | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| STRADALE CENTRATO | 1.35 | 1          | 0.75       | 0         |
| STRADALE APPOGGIO | 0    | 0          | 0          | 0         |

Per massimizzare il taglio all'appoggio si considerano le seguenti combinazioni SLU e SLE:

|                   | SLU1 | SLE RARA 1 | SLE FREQ 1 | SLE QPE 1 |
|-------------------|------|------------|------------|-----------|
| DEAD              | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| PERM              | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| STRADALE CENTRATO | 0    | 0          | 0          | 0         |
| STRADALE APPOGGIO | 1.35 | 1          | 0.75       | 0         |

### 8.3 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

Dal modello di calcolo si ottengono le seguenti sollecitazioni:

| SLU1 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   | SLEFREQ1 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   |
|------|----------|------------|----------|----------|------------|
| min  | -265.257 | -1.102E-13 | min      | -171.887 | -3.197E-14 |
| max  | 265.257  | 459.5779   | max      | 171.887  | 292.0341   |

| SLU2 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   | SLEFREQ2 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   |
|------|----------|------------|----------|----------|------------|
| min  | -307.026 | -2.205E-13 | min      | -195.092 | -9.166E-14 |
| max  | 223.488  | 416.4759   | max      | 148.682  | 267.7311   |

| SLE RARA1 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   | SLEQPE1 | V2 (kN) | M3 (kNm)   |
|-----------|----------|------------|---------|---------|------------|
| min       | -196.487 | -8.166E-14 | min     | -98.087 | -2.132E-14 |
| max       | 196.487  | 340.4281   | max     | 98.087  | 146.8519   |

| SLE RARA2 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   | SLEQPE2 | V2 (kN) | M3 (kNm)   |
|-----------|----------|------------|---------|---------|------------|
| min       | -227.427 | -1.634E-13 | min     | -98.087 | -2.132E-14 |
| max       | 165.547  | 308.5006   | max     | 98.087  | 146.8519   |

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 24 di 48 |

Le armature assunte per la verifica della sezione sono:

Armatura superiore:  $\phi 20/20$

Armatura inferiore:  $\phi 24/10$

Armatura di ripartizione:  $\phi 18/20$

Staffe:  $\phi 10/10$  a due braccia

Di seguito si riportano le verifiche eseguite con il software RC-SEC:

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME SEZIONE: sol\_sup

|                               |                                                                 |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Descrizione Sezione:          |                                                                 |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze agli Stati Limite Ultimi                             |
| Tipologia sezione:            | Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica |
| Normativa di riferimento:     | N.T.C.                                                          |
| Percorso sollecitazione:      | A Sforzo Norm. costante                                         |
| Condizioni Ambientali:        | Poco aggressive                                                 |
| Tipo di sollecitazione:       | Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)                 |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia                                   |
| Riferimento alla sismicit :   | Zona non sismica                                                |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                                      |                                           |                     |                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                       | Classe:                                   | C32/40              |                     |
|                                      | Resis. compr. di progetto fcd:            | 181.30              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Resis. compr. ridotta fcd':               | 90.65               | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
|                                      | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
|                                      | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|                                      | Modulo Elastico Normale Ec:               | 333458              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Resis. media a trazione fctm:             | 30.20               | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|                                      | Sc limite S.L.E. comb. Rare:              | 176.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 176.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200               | mm                  |
|                                      | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 128.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
| Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.200                                     | mm                  |                     |
| ACCIAIO -                            | Tipo:                                     | B450C               |                     |
|                                      | Resist. caratt. snervam. fyk:             | 4500.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Resist. caratt. rottura ftk:              | 4500.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Resist. snerv. di progetto fyd:           | 3913.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Resist. ultima di progetto ftd:           | 3913.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Deform. ultima di progetto Epu:           | 0.068               |                     |
| Modulo Elastico Ef                   | 2000000                                   | daN/cm <sup>2</sup> |                     |

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 25 di 48 |

|                                                      |                            |
|------------------------------------------------------|----------------------------|
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito           |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00                       |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50                       |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 3375.0 daN/cm <sup>2</sup> |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 60.0   |
| 3          | 50.0   | 60.0   |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

#### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -42.9  | 7.1    | 24        |
| 2       | -42.9  | 52.9   | 20        |
| 3       | 42.9   | 52.9   | 20        |
| 4       | 42.9   | 7.1    | 24        |

#### 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      | 1            | 4            | 8       | 24 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |

#### ARMATURE A TAGLIO

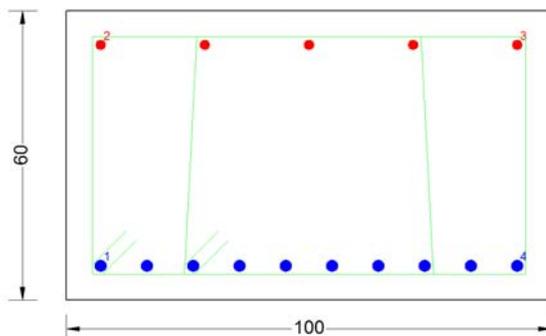
Diametro staffe: 10 mm  
Passo staffe: 10.0 cm

**Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:**

| N°Staffa | Barra | Barra | Barra | Barra |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 1        | 1     | 2     | 15    | 11    |
| 2        | 6     | 13    | 3     | 4     |

**Coordinate Barre generate di risvolto delle staffe:**

| N°Barra | X[cm] | Y[cm] |
|---------|-------|-------|
| 15      | 21.5  | 52.9  |
| 11      | 23.8  | 7.1   |
| 6       | -23.8 | 7.1   |
| 13      | -21.5 | 52.9  |



#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)                                                                             |       |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |       |       |
| Vy      | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate                                                              |       |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                             | Mx    | Vy    |
| 1       | 0                                                                                                                                             | 45958 | 26526 |
| 2       | 0                                                                                                                                             | 1     | 30703 |

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

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |       |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |       |    |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx    | My |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 34043 | 0  |

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

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |               |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |               |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx            | My    |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 29203 (23968) | 0 (0) |

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

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |               |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |               |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx            | My    |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 14685 (23968) | 0 (0) |

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 27 di 48 |

## RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.9 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.1 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.9 cm

## VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Componente momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

| N°Comb | Ver | N | Mx    | N Res | Mx Res | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|---|-------|-------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0 | 45958 | 0     | 85398  | 1.86     | 45.2(12.0) |
| 2      | S   | 0 | 1     | 0     | 85398  | 999.00   | 45.2(12.0) |

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
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  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.188 | -50.0  | 60.0   | 0.00100 | -42.9  | 52.9   | -0.01516 | -42.9  | 7.1    |
| 2      | 0.00350 | 0.188 | -50.0  | 60.0   | 0.00100 | -42.9  | 52.9   | -0.01516 | -42.9  | 7.1    |

## 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 (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000352647 | -0.017658817 | 0.188 | 0.700  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000352647 | -0.017658817 | 0.188 | 0.700  |

## VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 10 mm  
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [daN] =  $V_y$  ortogonale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 28 di 48 |

bw I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg Cotangente dell'angolo 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 | Ved   | Vcd    | Vwd   | Dmed | bw    | Ctg   | Acw   | Ast  | A.Eff     |
|--------|-----|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 1      | S   | 26526 | 215792 | 58527 | 52.9 | 100.0 | 1.000 | 1.000 | 14.2 | 31.4(0.0) |
| 2      | S   | 30703 | 215792 | 58527 | 52.9 | 100.0 | 1.000 | 1.000 | 16.5 | 31.4(0.0) |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
 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 [daN/cm<sup>2</sup>]  
 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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 64.6   | -50.0  | 60.0   | -1627  | -42.9  | 7.1    | 1350    | 45.2    |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
 Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max\*(e\_sm - e\_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00099 | 0  | 0.500 | 24.0 | 59 | 0.00049 (0.00049) | 322    | 0.158 (0.20) | 23968   | 0       |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 55.5   | -50.0  | 60.0   | -1396  | -42.9  | 7.1    | 1350    | 45.2    |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1 | e2 | k2 | Ø | Cf | e sm - e cm | sr max | wk | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----|----|----|---|----|-------------|--------|----|---------|---------|
|-------|-----|----|----|----|---|----|-------------|--------|----|---------|---------|

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 29 di 48 |

1 S -0.00085 0 0.500 24.0 59 0.00042 (0.00042) 322 0.135 (0.20) 23968 0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb Ver Sc max Xc max Yc max Sf min Xs min Ys min Ac eff. As eff.

1 S 27.9 -50.0 60.0 -702 -42.9 7.1 1350 45.2

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm sr max | wk  | Mx fess      | My fess |   |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|--------------------|-----|--------------|---------|---|
| 1     | S   | -0.00043 | 0  | 0.500 | 24.0 | 59 | 0.00021 (0.00021)  | 322 | 0.068 (0.20) | 23968   | 0 |

## 9 PROGETTO E VERIFICA DELLA SEZIONE 2

### 9.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 9.1.1 PESO PROPRIO (DEAD)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato pari a  $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$ . Questo è computato in automatico dal software di calcolo utilizzato.

#### 9.1.2 SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)

Il carico permanente è determinato dal massetto delle pendenze e dal pacchetto ballast + armamento.

|                         | Spessore [m] | Peso [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Armamento e ballast     | 0.8          | 20                        | 16                        |
| Massetto delle pendenze | 0.1          | 24                        | 2.4                       |

Frame Span Loads (PERM) (GLOBAL CSys)

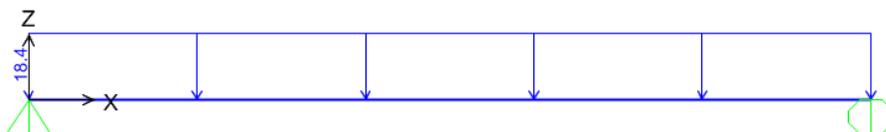


Figura 9 – Carico permanente

#### 9.1.3 CARICHI VARIABILI

##### 9.1.3.1 COEFFICIENTE DI INCREMENTO DINAMICO

Il valore della lunghezza caratteristica è desunta dalla tabella 5.2.II delle NTC2018:

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 31 di 48 |

 Tab. 5.2.II - Lunghezza caratteristica  $L_{\phi}$ 

| Caso                                                                                                | Elemento strutturale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Lunghezza $L_{\phi}$                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IMPALCATO DI PONTE IN ACCIAIO CON BALLAST (LAISTRA ORTOTROPA O STRUTTURA EQUIVALENTE)</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                              |
| 1                                                                                                   | Piastra con nervature longitudinali e trasversali, o solo longitudinali:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                     | 1.1 Piastra (in entrambe le direzioni)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 3 volte l'interasse delle travi trasversali                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                     | 1.2 Nervature longitudinali (comprese mensole fino a 0,50 m);                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3 volte l'interasse delle travi trasversali                                                                                                                                                                                  |
| 2                                                                                                   | 1.3 Travi trasversali: intermedie e di estremità                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2 volte la luce delle travi trasversali                                                                                                                                                                                      |
|                                                                                                     | Piastre con sole nervature trasversali                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                     | 2.1 Piastra (per entrambe le direzioni)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2 volte l'interasse delle travi trasversali + 3 m                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                     | 2.2 Travi trasversali intermedie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2 volte la luce delle travi trasversali                                                                                                                                                                                      |
| 3                                                                                                   | 2.3 Travi trasversali d'estremità                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | luce della trave trasversale                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                     | <b>IMPALCATO DI PONTE IN ACCIAIO SENZA BALLAST (PER TENSIONI LOCALI)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                     | 3.1 Sostegni per rotaie (longherine)<br>- come elemento di un grigliato<br>- come elemento semplicemente appoggiato                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3 volte l'interasse delle travi trasversali<br>distanza fra le travi trasversali + 3 m                                                                                                                                       |
| 3                                                                                                   | 3.2 Sostegni per rotaie a mensola (longherine a mensola) per travi trasversali di estremità                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $\Phi_3 = 2,0$ , ove non meglio specificato                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                     | 3.3 Travi trasversali intermedie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2 volte la luce delle travi trasversali                                                                                                                                                                                      |
| 4                                                                                                   | 3.4 Travi trasversali d'estremità                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | luce della trave trasversale                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                     | <b>IMPALCATO DI PONTE IN CALCESTRUZZO CON BALLAST (PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI LOCALI E TRASVERSALI)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                     | 4.1 Solette superiori e <i>traversi</i> di impalcato a sezione scatolare o a graticcio di travi<br>- nella direzione trasversale alle travi principali<br>- nella direzione longitudinale<br><br>- mensole trasversali supportanti carichi ferroviari: se $e > 0,50$ m, essendo $e$ la distanza fra l'asse della rotaia più esterna e il filo esterno dell'anima più esterna della struttura principale longitudinale, occorre uno studio specifico. | 3 volte la luce della soletta<br>3 volte la luce della soletta d'impalcato o, se minore, la lunghezza caratteristica della trave principale<br><br>3 volte la distanza fra le anime della struttura principale longitudinale |
|                                                                                                     | 4.2 Soletta continua su travi trasversali (nella direzione delle travi principali)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2 volte l'interasse delle travi trasversali                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                     | 4.3 Solette per ponti a via inferiore:<br>- ordinate perpendicolarmente alle travi principali<br>- ordinate parallelamente alle travi principali                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2 volte la luce della soletta<br>2 volte la luce della soletta o, se minore, la lunghezza caratteristica delle travi principali;                                                                                             |
| 4.4 Impalcato a travi incorporate tessute ortogonalmente all'asse del binario                       | 2 volte la lunghezza caratteristica in direzione longitudinale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                              |
| 4.5 Mensole longitudinali supportanti carichi ferroviari (per le azioni in direzione longitudinale) | se $e \leq 0,5$ m $\Phi_2 = 1,67$ ; per $e > 0,5$ m v.(4.1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                              |

| TRAVI PRINCIPALI |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5                | 5.1 Travi e solette semplicemente appoggiate (compresi i solettoni a travi incorporate)                                                                                                                                                                                                                                                                                      | luce nella direzione delle travi principali                                                                                                                                                                                                                                             |
|                  | 5.2 Travi e solette continue su n luci, indicando con:<br>$L_m = 1/n \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$                                                                                                                                                                                                                                                                        | $L_{\phi} = k L_m$ dove:<br>$n = 2 - 3 - 4 \geq 5$<br>$k = 1,2 - 1,3 - 1,4 - 1,5$                                                                                                                                                                                                       |
|                  | 5.3 Portali:<br>- a luce singola<br><br>- a luci multiple                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | da considerare come trave continua a tre luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti e la lunghezza del traverso)<br><br>da considerare come trave continua a più luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti terminali e la lunghezza di tutti i traversi) |
|                  | 5.4 Solette ed altri elementi di scatolari per uno o più binari (sottovia di altezza libera $\leq 5,0$ m e luce libera $\leq 8,0$ m).<br><br>Per gli scatolari che non rispettano i precedenti limiti vale il punto 5.3, trascurando la presenza della soletta inferiore e considerando un coefficiente riduttivo del $\Phi$ pari a 0,9, da applicare al coefficiente $\Phi$ | $\Phi_2 = 1,20$ ; $\Phi_3 = 1,35$                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                  | 5.5 Travi ad asse curvilineo, archi a spinta eliminata, archi senza riempimento.                                                                                                                                                                                                                                                                                             | metà della luce libera                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                  | 5.6 Archi e serie di archi con riempimento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | due volte la luce libera                                                                                                                                                                                                                                                                |

Si ha quindi che:

$$L\phi = 6,00\text{m}$$

Per cui, per linee con ridotto standard manutentivo il coefficiente di incremento dinamico risulta pari a:

$$\Phi_3 = \left( \frac{2.16}{\sqrt{L\phi} - 0.2} + 0.73 \right) = 1.69$$

### 9.1.3.2 LARGHEZZA DI DIFFUSIONE TRASVERSALE

La diffusione trasversale dei carichi è stata effettuata, a partire dall'intradosso della traversina, nell'ipotesi di ripartizione nel ballast, nel massetto e nella soletta di copertura nei rapporti di seguito indicati:

|          | ai |   | bi |
|----------|----|---|----|
| ballast  | 4  | : | 1  |
| soletta  | 1  | : | 1  |
| massetto | 1  | : | 1  |

ss = 0.60 m : spessore della soletta

sm = 0.10 m : spessore del massetto pendenze

sr = 0.36 m : spessore del ballast sotto la traversa

Ltr = 2.40 m : lunghezza traversina

Diffusione trasversale

$$Ld = Ltr + 2 \cdot (sm \cdot bm / am + sb \cdot bb / ab) + 2 \cdot (ss / 2) \cdot bs / as = 3.40 \text{ m}$$

### 9.1.3.3 SOVRACCARICHI MOBILI

Treno di carico LM71

Il modello di carico LM71 è costituito dalla presenza del locomotore con gli assi da 250 kN disposti ad interasse longitudinale pari ad 1.60 m e da un carico distribuito di 80 kN/m. Il coefficiente di adattamento  $\alpha$  è pari a 1.1.

$$Qvk = 250 \text{ kN}$$

$$qvk = 80 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1.1$$

Il carico complessivo Q agente su una striscia di lunghezza unitaria vale pertanto, incrementato del coefficiente dinamico e diviso sulla larghezza di diffusione trasversale:

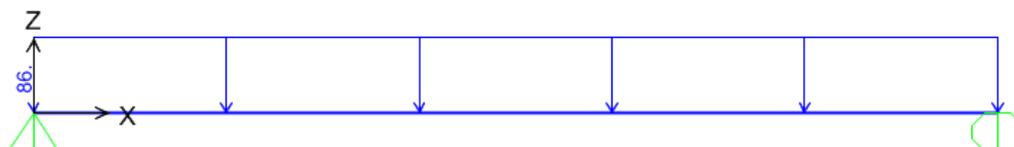
**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 33 di 48 |

|                           |        |                                       |
|---------------------------|--------|---------------------------------------|
| qeq (kN/m)                | 156.25 | carico distribuito equivalente 4 assi |
| a                         | 1.10   | coefficiente adattamento              |
| $\varphi$                 | 1.69   | coefficiente incremento dinamico      |
| q (kN/m)                  | 291    | $q = qeq \cdot \alpha \cdot \varphi$  |
| Ld (m)                    | 3.40   | larghezza di diffusione               |
| q/Ld (kN/m <sup>2</sup> ) | 86     |                                       |

La lunghezza di diffusione longitudinale risulta essere maggiore della luce della trave, quindi si applica il carico distribuito derivante dai 4 assi da 250 kN, su tutta la trave. Mentre il carico da 80 kN/m non viene considerato in quanto meno gravoso.

Frame Distributed Loads (STRADALE CENTR)



*Figura 10 – Carico ferroviario*

## 9.2 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

### 9.2.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

|             |                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------|
| DEAD        | PESO PROPRIO                                        |
| PERM        | CARICHI PERMANENTI (ballast e armamento + massetto) |
| FERROVIARIO | CARICO FERROVIARIO                                  |

### 9.2.2 COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA

Per massimizzare il momento in mezzera e il taglio all'appoggio si considerano le seguenti combinazioni SLU e SLE:

|             | SLU1 | SLE RARA 1 | SLE FREQ 1 | SLE QPE 1 |
|-------------|------|------------|------------|-----------|
| DEAD        | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| PERM        | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| FERROVIARIO | 1.35 | 1          | 0.75       | 0         |

### 9.3 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

Dal modello di calcolo si ottengono le seguenti sollecitazioni:

| <i>SLU1</i>     | <b>V2 (kN)</b> | <b>M3 (kNm)</b> |
|-----------------|----------------|-----------------|
| min             | -483.552       | -6.715E-14      |
| max             | 483.552        | 723.957         |
|                 |                |                 |
| <i>SLERARA1</i> | <b>V2 (kN)</b> | <b>M3 (kNm)</b> |
| min             | -358.187       | -4.974E-14      |
| max             | 358.187        | 536.2644        |
|                 |                |                 |
| <i>SLEFREQ1</i> | <b>V2 (kN)</b> | <b>M3 (kNm)</b> |
| min             | -293.687       | -4.263E-14      |
| max             | 293.687        | 439.6973        |
|                 |                |                 |
| <i>SLEQPE1</i>  | <b>V2 (kN)</b> | <b>M3 (kNm)</b> |
| min             | -100.187       | -2.132E-14      |
| max             | 100.187        | 149.996         |

Le armature assunte per la verifica della sezione sono:

Armatura superiore:  $\phi 20/20$

Armatura inferiore:  $\phi 24/10 + \phi 24/20$

Armatura di ripartizione:  $\phi 18/20$

Staffe:  $\phi 10/10$  a due braccia

Di seguito si riportano le verifiche eseguite con il software RC-SEC:

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.**  
**NOME SEZIONE: sol\_sup FERROVIARIO**

|                               |                                                                 |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Descrizione Sezione:          |                                                                 |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze agli Stati Limite Ultimi                             |
| Tipologia sezione:            | Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica |
| Normativa di riferimento:     | N.T.C.                                                          |
| Percorso sollecitazione:      | A Sforzo Norm. costante                                         |
| Condizioni Ambientali:        | Poco aggressive                                                 |
| Tipo di sollecitazione:       | Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)                 |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia                                   |
| Riferimento alla sismicit :   | Zona non sismica                                                |

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 36 di 48 |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |                                           |                     |                     |
|----------------|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                   | C32/40              |                     |
|                | Resis. compr. di progetto fcd:            | 181.30              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Resis. compr. ridotta fcd':               | 90.65               | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:               | 333458              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Resis. media a trazione fctm:             | 30.20               | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Rare:              | 176.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 176.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200               | mm                  |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 128.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200               | mm                  |

|                              |                                    |                     |                     |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| ACCIAIO -                    | Tipo:                              | B450C               |                     |
|                              | Resist. caratt. snervam. fyk:      | 4500.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Resist. caratt. rottura ftk:       | 4500.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Resist. snerv. di progetto fyd:    | 3913.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Resist. ultima di progetto ftd:    | 3913.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Deform. ultima di progetto Epu:    | 0.068               |                     |
|                              | Modulo Elastico Ef                 | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Diagramma tensione-deformaz.:      | Bilineare finito    |                     |
|                              | Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : | 1.00                |                     |
|                              | Coeff. Aderenza differito β1*β2 :  | 0.50                |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 3375.0                             | daN/cm <sup>2</sup> |                     |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 60.0   |
| 3          | 50.0   | 60.0   |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

#### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -42.9  | 7.1    | 24        |
| 2       | -42.9  | 52.9   | 20        |
| 3       | 42.9   | 52.9   | 20        |
| 4       | 42.9   | 7.1    | 24        |
| 5       | -42.8  | 11.6   | 24        |
| 6       | 42.8   | 11.6   | 24        |

#### 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                          |

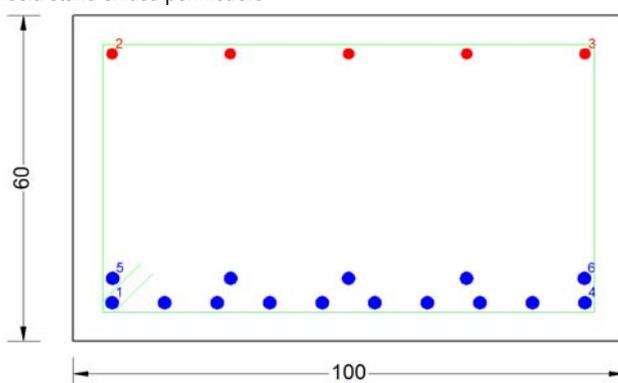
**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 37 di 48 |

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 24 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |
| 3      | 5            | 6            | 3       | 24 |

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 10 mm  
 Passo staffe: 5.0 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale



**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)                                                                             |       |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |       |       |
| Vy      | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate                                                              |       |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                             | Mx    | Vy    |
| 1       | 0                                                                                                                                             | 72396 | 48355 |

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

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |       |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |       |    |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx    | My |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 53626 | 0  |

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

| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |               |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |               |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx            | My    |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 43969 (25662) | 0 (0) |

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 38 di 48 |

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx            | My    |
|---------|---|---------------|-------|
| 1       | 0 | 14999 (25662) | 0 (0) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.9 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.1 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 4.9 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
 Mx Componente momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

| N°Comb | Ver | N | Mx    | N Res | Mx Res | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|---|-------|-------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0 | 72396 | 0     | 120032 | 1.66     | 67.9(12.0) |

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
 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  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.271 | -50.0  | 60.0   | 0.00176 | 42.9   | 52.9   | -0.00943 | -42.9  | 7.1    |

**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 (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000244473 | -0.011168402 | 0.271 | 0.778  |

**VERIFICHE A TAGLIO**

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 39 di 48 |

Diam. Staffe: 10 mm  
Passo staffe: 5.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [daN] =  $V_y$  ortogonale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
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.  
Ctg Cotangente dell'angolo 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 | Ved   | Vcd    | Vwd   | Dmed | bw    | Ctg   | Acw   | Ast  | A.Eff     |
|--------|-----|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 1      | S   | 48355 | 215792 | 58527 | 52.9 | 100.0 | 1.000 | 1.000 | 26.0 | 31.4(0.0) |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
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 [daN/cm<sup>2</sup>]  
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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 94.1   | -50.0  | 60.0   | -1887  | -33.4  | 7.1    | 1250    | 67.9    |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00116 | 0  | 0.500 | 24.0 | 59 | 0.00072 (0.00057) | 276    | 0.199 (0.20) | 25662   | 0       |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 40 di 48 |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 77.1   | -50.0  | 60.0   | -1547  | -33.4  | 7.1    | 1250    | 67.9    |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00095 | 0  | 0.500 | 24.0 | 59 | 0.00055 (0.00046) | 276    | 0.152 (0.20) | 25662   | 0       |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 26.3   | -50.0  | 60.0   | -528   | -23.8  | 7.1    | 1250    | 67.9    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00033 | 0  | 0.500 | 24.0 | 59 | 0.00016 (0.00016) | 276    | 0.044 (0.20) | 25662   | 0       |

## 10 PROGETTO E VERIFICA DELLA SEZIONE 3

### 10.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 10.1.1 PESO PROPRIO (DEAD)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato pari a  $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$ . Questo è computato in automatico dal software di calcolo utilizzato.

#### 10.1.2 SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)

Il carico permanente è determinato dal ricoprimento in terreno naturale.

|                     | Spessore [m] | Peso [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso [kN/m <sup>2</sup> ] |
|---------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Armamento e ballast | 0.6          | 18                        | 10.8                      |

Frame Span Loads (PERM) (GLOBAL CSys)



Figura 11 – Carico permanente

#### 10.1.3 CARICHI VARIABILI

Per la verifica della sezione generica che non comprende carichi stradali e ferroviari, si assume, in via cautelativa, un valore di carico variabile pari a  $10 \text{ kN/m}^2$ . In tal modo si tiene conto dell'eventuale passaggio di mezzi meccanici al di sopra della soletta.

Frame Span Loads (STRADALE CENTR) (GLOBAL CSys)



Figura 12 – Carico variabile

## 10.2 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

### 10.2.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

|           |                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------------|
| DEAD      | PESO PROPRIO                                          |
| PERM      | CARICHI PERMAMENTI (ricoprimento in terreno naturale) |
| VARIABILE | CARICO VARIABILE MEZZI MECCANICI                      |

### 10.2.2 COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA

Per massimizzare il momento in mezzera e il taglio all'appoggio si considerano le seguenti combinazioni SLU e SLE:

|           | SLU1 | SLE RARA 1 | SLE FREQ 1 | SLE QPE 1 |
|-----------|------|------------|------------|-----------|
| DEAD      | 1.35 | 1          | 1          | 1         |
| PERM      | 1.5  | 1          | 1          | 1         |
| VARIABILE | 1.5  | 1          | 0.5        | 0         |

### 10.3 SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

Dal modello di calcolo si ottengono le seguenti sollecitazioni:

| SLU1 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   |
|------|----------|------------|
| min  | -154.332 | -2.451E-14 |
| max  | 154.332  | 231.0605   |

| SLERARA1 | V2 (kN)  | M3 (kNm)   |
|----------|----------|------------|
| min      | -107.387 | -1.776E-14 |
| max      | 107.387  | 160.7756   |

| SLEFREQ1 | V2 (kN) | M3 (kNm)   |
|----------|---------|------------|
| min      | -92.387 | -1.776E-14 |
| max      | 92.387  | 138.3181   |

| SLEQPE1 | V2 (kN) | M3 (kNm)   |
|---------|---------|------------|
| min     | -77.387 | -1.776E-14 |
| max     | 77.387  | 115.8606   |

Le armature assunte per la verifica della sezione sono:

Armatura superiore:  $\phi 20/20$

Armatura inferiore:  $\phi 20/10$

Armatura di ripartizione:  $\phi 16/20$

Staffe:  $\phi 10/10$

Di seguito si riportano le verifiche eseguite con il software RC-SEC:

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.**  
**NOME SEZIONE: sol\_sup GENERICA**

|                               |                                                                 |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Descrizione Sezione:          | Resistenze agli Stati Limite Ultimi                             |
| Metodo di calcolo resistenza: | Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica |
| Tipologia sezione:            | N.T.C.                                                          |
| Normativa di riferimento:     | A Sforzo Norm. costante                                         |
| Percorso sollecitazione:      | Poco aggressive                                                 |
| Condizioni Ambientali:        | Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)                 |
| Tipo di sollecitazione:       | Assi x,y principali d'inerzia                                   |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Zona non sismica                                                |
| Riferimento alla sismicit :   |                                                                 |

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 44 di 48 |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |                                           |                     |                     |
|----------------|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                   | C32/40              |                     |
|                | Resis. compr. di progetto fcd:            | 181.30              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Resis. compr. ridotta fcd':               | 90.65               | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:               | 333458              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Resis. media a trazione fctm:             | 30.20               | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Rare:              | 176.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 176.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200               | mm                  |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 128.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200               | mm                  |

|                              |                                    |                     |                     |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| ACCIAIO -                    | Tipo:                              | B450C               |                     |
|                              | Resist. caratt. snervam. fyk:      | 4500.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Resist. caratt. rottura ftk:       | 4500.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Resist. snerv. di progetto fyd:    | 3913.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Resist. ultima di progetto ftd:    | 3913.0              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Deform. ultima di progetto Epu:    | 0.068               |                     |
|                              | Modulo Elastico Ef                 | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Diagramma tensione-deformaz.:      | Billineare finito   |                     |
|                              | Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : | 1.00                |                     |
|                              | Coeff. Aderenza differito β1*β2 :  | 0.50                |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 3375.0                             | daN/cm <sup>2</sup> |                     |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 60.0   |
| 3          | 50.0   | 60.0   |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

#### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -42.9  | 7.1    | 20        |
| 2       | -42.9  | 52.9   | 20        |
| 3       | 42.9   | 52.9   | 20        |
| 4       | 42.9   | 7.1    | 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 |
|--------|--------------|--------------|---------|---|
|--------|--------------|--------------|---------|---|

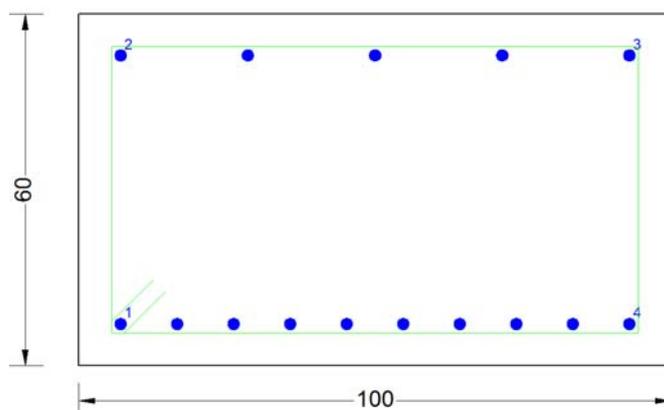
**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 45 di 48 |

|   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|----|
| 1 | 1 | 4 | 8 | 20 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 20 |

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 10 mm  
 Passo staffe: 10.0 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale



**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

|         |                                                                                                                                               |       |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)                                                                             |       |       |
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |       |       |
| Vy      | Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate                                                              |       |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                             | Mx    | Vy    |
| 1       | 0                                                                                                                                             | 23106 | 15433 |

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

|         |                                                                                                                                                                       |       |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |       |    |
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |       |    |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx    | My |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 16077 | 0  |

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

|         |                                                                                                                                                                       |               |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| N       | Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)                                                                                                 |               |       |
| Mx      | Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |               |       |
| N°Comb. | N                                                                                                                                                                     | Mx            | My    |
| 1       | 0                                                                                                                                                                     | 13832 (22409) | 0 (0) |

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx            | My    |
|---------|---|---------------|-------|
| 1       | 0 | 11586 (22409) | 0 (0) |

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.1 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Componente momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

| N°Comb | Ver | N | Mx    | N Res | Mx Res | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|---|-------|-------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0 | 23106 | 0     | 60707  | 2.63     | 31.4(12.0) |

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
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  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.147 | -50.0  | 60.0   | 0.00030 | 42.9   | 52.9   | -0.02038 | -42.9  | 7.1    |

### 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 (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000451378 | -0.023582701 | 0.147 | 0.700  |

### VERIFICHE A TAGLIO

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 47 di 48 |

Diam. Staffe: 10 mm  
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [daN] =  $V_y$  ortogonale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
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.  
Ctg Cotangente dell'angolo 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 | Ved   | Vcd    | Vwd   | Dmed | bw    | Ctg   | Acw   | Ast | A.Eff     |
|--------|-----|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----------|
| 1      | S   | 15433 | 215792 | 29264 | 52.9 | 100.0 | 1.000 | 1.000 | 8.3 | 15.7(0.0) |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
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 [daN/cm<sup>2</sup>]  
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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 34.5   | -50.0  | 60.0   | -1088  | -23.8  | 7.1    | 1450    | 31.4    |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00065 | 0  | 0.500 | 20.0 | 61 | 0.00033 (0.00033) | 364    | 0.119 (0.20) | 22409   | 0       |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

**Fosso Bulagaio – relazione di calcolo solette di copertura**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO     | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|---------------|------|----------|
| IR0B     | 02    | D10      | CL IN0200 001 | A    | 48 di 48 |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 29.7   | -50.0  | 60.0   | -936   | -33.4  | 7.1    | 1450    | 31.4    |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00056 | 0  | 0.500 | 20.0 | 61 | 0.00028 (0.00028) | 364    | 0.102 (0.20) | 22409   | 0       |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 24.9   | -50.0  | 60.0   | -784   | -33.4  | 7.1    | 1450    | 31.4    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00047 | 0  | 0.500 | 20.0 | 61 | 0.00024 (0.00024) | 364    | 0.086 (0.20) | 22409   | 0       |

## 11 INCIDENZE

Soletta stradale 130 kg/mc

Soletta ferroviaria 170 kg/mc

Soletta generica 100 kg/mc